

Trabajo Fin de Grado

Análisis de la evolución histórica de las aportaciones
hídricas anuales de los ríos españoles

Analysis of the historical evolution of the anual
water contributions of the Spanish rivers

Autor

Luis Marqués Jarque

Director

César González Cebollada

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA

AÑO 2019

Índice general

1. - INTRODUCCIÓN	4
1.1 El agua en la península ibérica	4
1.2 Aumento de la demanda de agua por la agricultura.....	6
1.2.1 Regadíos en la antigüedad	6
1.2.2 Construcción de infraestructuras hidráulicas en el siglo XX	7
1.2.3 Conversión de tierras de secano en regadío	11
1.2.4 Modernización de las técnicas de regadío.....	12
1.3 Aumento de la demanda de agua de consumo humano	14
1.4 Aumento de la superficie forestal en las cotas medias	17
1.5 Variación de las precipitaciones y la temperatura en España	19
1.5.1 Evolución de la precipitación en España	19
1.5.2 Evolución de la temperatura en España	21
2.- OBJETIVOS	25
3.- METODOLOGÍA	26
4. - RESULTADOS.....	28
4.1 Ebro	28
4.2 Miño-Sil	34
4.3 Duero	41
4.4 Cantábrico.....	48
4.5 Tajo	55
4.6 Guadiana	62
4.7 Guadalquivir	65
4.8 Júcar	72
4.9 Segura	78
4.10 Variación de la aportación hídrica desde 1964	84
5. - DISCUSIÓN	86
6. - CONCLUSIONES	88
7. – BIBLIOGRAFÍA	89

RESUMEN

El impacto del cambio climático está condicionando el volumen de los recursos hídricos disponibles en España y las previsiones oficiales establecen escenarios negativos sobre la futura demanda del agua. Se estima una ligera disminución de las precipitaciones con un aumento del número de situaciones de gota fría y lluvias torrenciales, además de un incremento de la temperatura media. Se hace palpable la necesidad de implantar medidas que consigan disminuir y optimizar el consumo de los recursos hídricos. Dicha gestión necesitará la estimación de las aportaciones de los ríos de la península con objeto de dilucidar una tendencia y preparar un escenario futuro sobre el que se asienten los próximos planes nacionales hidrográficos.

El estudio ha analizado las tendencias históricas de las aportaciones de los principales ríos españoles valorando el grado de afección de los distintos factores externos sobre su evolución. El principal resultado ha sido una sensible disminución de los aportes totales marcada por un aumento del consumo de los cultivos de regadío. La respuesta de cada cuenca ha venido determinada por la estabilidad y abundancia de sus precipitaciones y su capacidad de establecer nuevos cultivos provocando un empeoramiento del comportamiento hídrico hacia el sureste de la península ibérica.

Palabras clave: demanda hídrica, tendencia, regadío, evolución, cuencas hidrográficas.

ABSTRACT

The impact of climate change is conditioning the volume of water resources available in Spain and official forecasts establish negative scenarios for future water demand. It is estimated that there will be a slight decrease in rainfall with an increase in the number of cold drop situations and torrential rains, as well as an increase in the average temperature. The need to implement measures to reduce and optimise the consumption of water resources is palpable. This management will require the estimation of the contributions of the rivers on the peninsula in order to elucidate a trend and prepare a future scenario on which the next national hydrographic plans will be based.

The study has analysed the historical trends of the contributions of the main Spanish rivers, evaluating the degree of affection of the different external factors on their evolution. The main result has been a significant decrease in total contributions, marked by an increase in the consumption of irrigated crops. The response of each basin has been determined by the stability and abundance of its rainfall and its ability to establish new crops causing a worsening of water behavior towards the southeast of the Iberian peninsula.

Keywords: water demand, trend, irrigation, evolution, hydrographic basins.

1. - INTRODUCCIÓN

1.1 El agua en la península ibérica

La evolución y progreso de la sociedad en la península ibérica ha estado supeditada a la capacidad de aprovechar sus recursos hídricos revelándose como el principal factor limitante. El territorio se caracteriza por un sistema de ríos y afluentes de escasa entidad y con épocas de sensible estiaje, haciéndose más palpable conforme nos vamos acercando a su extremo sudoriental. La irregularidad anual y estacional de los caudales ha provocado, desde la antigüedad, un esfuerzo en el uso y maximización de los recursos hídricos existentes creando sistemas de almacenaje y distribución para abastecer a la población y poder tener una fuente estable de alimentación.

La gestión del agua como bien de interés nacional comenzó a mitad del siglo XIX en España. El aprovechamiento de aguas públicas con fines agrícolas fue considerado por los gobiernos como uno de los medios más eficaces para aumentar la producción agraria y la riqueza nacional. Pese a ello, la construcción de infraestructuras hidráulicas estaba en manos de la empresa privada y la rentabilidad asociada a estos proyectos era menor a otras obras de inferior calado por lo que su desarrollo se presentaba en proyectos puntuales.

El aumento de la demanda de agua debido a la elevada tasa de crecimiento de la población forzó al Estado a intervenir en obra pública para satisfacer la necesidad del campo español. A su vez, se tramitaron concesiones sobre los principales canales que poseía el Estado para aumentar la inversión privada y se comenzaron a aprobar los primeros planes de riego.

A partir de principios del siglo XX se intensifica la inversión estatal de la mano del ministro de agricultura Rafael Gasset que preparó el Plan Nacional de Obras Hidráulicas (1902) que preveía la construcción de 296 obras entre canales y pantanos. Se permitiría regar 1.469.022 hectáreas, la mitad de cuya superficie correspondía a las cuencas del Guadiana (406.602) y del Ebro (327.000) (Fernández, 2004).

Estas acciones evidenciaban un progreso basado en una demanda hídrica creciente que recaería sobre los ríos españoles. Esta demanda se ve condicionada por el consumo de agua potable para entornos urbanos, actividades agrícolas e industriales, así como usos recreativos y de otra índole. Por otra parte, varía según la estación del

año y el momento socioeconómico en el que se encuentre la sociedad, exigiendo un mayor consumo en épocas de bonanza y estancándose o disminuyendo cuando se produce una recesión o desaceleración económica.

En la siguiente tabla podemos clasificar la demanda por sectores según los datos de los Planes Hidrológicos de las diferentes cuencas hidrográficas para el año 2000 (Centro de Estudios Hidrográficos, 2000).

	<i>Demanda (hm³)</i>				<i>Consumo (hm³/año)</i>	<i>Retorno (hm³/año)</i>
	<i>Regadío</i>	<i>Urbana</i>	<i>Industrial</i>	<i>Total</i>		
<i>Ebro</i>	6.310	313	3.755	10.378	5.361	5.017
<i>Norte</i>	532	560	600	1.692	646	1.046
<i>Galicia Costa</i>	532	210	77	819	479	340
<i>Duero</i>	3.603	214	43	3.860	2.929	931
<i>Tajo</i>	1.875	768	1.422	4.065	1.728	2.337
<i>Guadiana</i>	2.285	157	89	2.531	1.877	654
<i>Guadalquivir</i>	3.140	532	88	3.760	2.636	1.124
<i>Júcar</i>	2.284	563	115	2.962	1.958	1.004
<i>Segura</i>	1.639	172	23	1.834	1.350	484
<i>Sur</i>	1.070	248	32	1.350	912	438
<i>Canarias</i>	264	153	10	427	244	183
<i>Cuencas internas catalanas</i>	371	682	304	1.357	493	864
<i>Baleares</i>	189	95	4	288	171	117
<i>Total</i>	24.094	4.667	6.562	35.323	20.784	14.539

Tabla 1. Demanda de agua por cuencas hidrográficas y sectores

La demanda de agua difiere en cada cuenca dependiendo del sector económico predominante. Se vislumbra el mayor volumen de agua consumido en las grandes cuencas agrícolas como el Ebro, el Duero o el Guadalquivir, sin desmerecer zonas de menor extensión, pero con un impacto muy importante de la huerta como el Júcar o el Segura. Una de las industrias que más agua demanda es la nuclear ya que necesita de un volumen muy elevado de agua para refrigerar sus torres. Como se puede ver en la Tabla 1, las cuencas del Ebro y el Tajo, sobre las que se asientan la mayoría de estas infraestructuras, consumen un gran volumen de hectómetros cúbicos si bien el ciclo permite una gran rapidez en el retorno de estas aguas al sistema fluvial.

Una parte del agua demandada es consumida saliendo del sistema hídrico y el resto vuelve a los ríos. Este retorno es importante para conservar los ecosistemas fluviales con un caudal ecológico prudente.

La demanda de agua se ha disparado en el último siglo y se empiezan a observar periodos de escasez hídrica que ponen en peligro la subsistencia del sistema. La gestión hidrológica debe tener en cuenta cómo han evolucionado los diferentes sectores económicos que demandan agua y las variables climáticas que afectan al entorno. Es fundamental estudiar los insumos y salidas del sistema para organizar una gestión eficaz y sostenible del agua.

1.2 Aumento de la demanda de agua por la agricultura

Al inicio del siglo XX, los regadíos tradicionales constituían una mínima proporción del conjunto de cultivos de la península ibérica, los cuáles se nutrían de aguas de manantiales, pequeños pozos someros o derivadas de pequeños azudes en los ríos. Apenas superaban el millón de hectáreas y la eficiencia del uso del agua era relativamente baja al utilizar técnicas convencionales como el riego a manta o por surcos. Este tipo de técnicas no precisaban de una alta inversión y tampoco requerían del uso de energía, más allá de la elevación de agua desde el lugar de origen en caso de que la explotación estuviese situada en altura. Por el contrario, se debía disponer de una superficie lo más homogénea y horizontal posible para permitir una correcta aplicación en toda la extensión del cultivo.

1.2.1 Regadíos en la antigüedad

Desde la época árabe hasta principios del siglo pasado los cultivos de regadío se habían situado cerca de las principales masas de agua, extendiéndose por las llanuras de inundación de sus ríos. Estos espacios irrigados estaban delimitados, para su eventual crecimiento, por la línea de rigidez trazada por la acequia principal lo que obligaba a buscar pendientes favorables para la circulación del agua por gravedad, reduciéndose cada vez más las posibilidades de espacio irrigado (Barceló, 1989). La vega de Granada, la cuenca del Ebro y las huertas de Murcia y Valencia son un ejemplo de la gestión del agua para la agricultura desde épocas antiguas.

Al tener estos terrenos una superficie limitada se procedió a buscar nuevas técnicas para poder poner en marcha cultivos en terrenos menos favorables gracias al uso de artefactos tradicionales.

Entre ellos se encontraban las norias y las bombas manuales que permitían disponer de masas de agua que se encontraban a poca profundidad pero que no estaban disponibles para los cultivos. Numerosos estudios avalan la importancia de su difusión por toda la geografía española y documentan su aplicación sobre las captaciones de aguas subterráneas.

Según el censo de 1916, las norias suponían la mitad, aproximadamente, de la maquinaria de extracción de recursos hídricos subterráneos y estaban muy arraigadas en las zonas del interior y en las regiones mediterráneas (Calatayud y Martínez, 1999).

En la tabla 2 podemos observar como el interior de la meseta y el mediterráneo acaparan la mayor superficie regada gracias al uso de estos ingenios debido a la irregular y escasa aparición de precipitaciones.

	<i>Con agua subterránea (ha)</i>	<i>Con agua superficial (ha)</i>	<i>Total superficie regada con uso de máquinas</i>	<i>Total superficie regada (ha)</i>	<i>Proporción x 100</i>
<i>Norte</i>	14	30	44	135.517	0,03
<i>Interior</i>	70.596	16.275	86.871	692.558	12,54
<i>Mediterráneo</i>	42.212	6.704	48.916	313.845	15,58
<i>Sur</i>	9.728	4.250	13.978	218.077	6,40
<i>Canarias</i>	175	-	175	6.444	2,71
<i>Total</i>	122.725	27.259	149.984	1.366.441	10,97

Tabla 2. Superficie regada con uso de maquinarias y pozos artesianos, España 1916.

1.2.2 Construcción de infraestructuras hidráulicas en el siglo XX

A partir del Siglo XX y, debido a un aumento de la población, el estado comienza a aplicar medidas para incrementar la superficie cultivable y permitir un mayor uso de las aguas para los aprovechamientos agrícolas. La nueva política hidráulica surgida del impulso de los Regeneracionistas, con Joaquín Costa a la cabeza, estableció la construcción de embalses con fines de regulación e hidroeléctricos, y el uso de sus aguas para el regadío, con una participación decisiva del Estado y con la colaboración

de los regantes, utilizando para ello los mecanismos económico financieros de la ley Gasset de 1911.

Después de la Guerra Civil y con una sociedad inmersa en un periodo de posguerra, se paralizó la política de impulso al regadío. Será en la segunda mitad de siglo cuando la construcción de presas experimente un crecimiento muy espectacular, principalmente entre los años 1955 y 1975, en los que el número de presas se multiplicó por 2,4 y la capacidad de embalse se sextuplico (Berga, 2003), añadiendo vastos recursos hídricos a los nuevos cultivos creados.

<i>Periodo</i>	<i>Número de grandes presas</i>	<i>Capacidad de embalse (Hm³)</i>
1950	276	6.142
1950-1960	464	18.167
1960-1970	666	36.919
1970-1980	859	41.717
1980-1990	1016	49.315
1990-2000	1095	56.500

Tabla 3. Evolución de las grandes presas. 1950-2000

Después del franquismo, los nuevos regadíos se implantaron en terrenos menos adecuados productivamente, situados a mayor elevación y distancia del punto de captación, haciendo un mayor uso de las aguas subterráneas y siendo construidos por iniciativa privada tomando el relevo de las administraciones públicas. El acceso de agua a las nuevas tierras cultivadas fue posible gracias a la creación de una gigantesca red de distribución basada en el uso de la energía para poder bombear el agua a superficies distantes.

En la tabla 4 se observan los cambios en la relación de los usos del agua y la energía para regadíos en el último siglo, evidenciándose que en el periodo 1950-2007 la superficie de regadíos se ha multiplicado por 2,2 y los consumos energéticos del mismo por 19 (Corominas, 2010).

	Superficie (miles de Ha)	Consumo de agua (Hm ³)	Consumo de energía (GWH)
1900	1.000	5.400	0
1930	1.350	7.594	182
1940	1.500	8.288	191
1950	1.500	8.353	309
1970	2.200	12.320	1056
1980	2.700	14.648	2093
1990	3.200	17.400	3480
2000	3.410	18.499	4893
2007	3.760	20.163	5866
2007/1950	2,5	2,4	19,0

Tabla 4. Evolución del consumo de agua y energía para riego en España

La idoneidad climática, unida a la escasez relativa de recursos superficiales, ha propiciado una agricultura de regadío basada fuertemente en el uso de aguas subterráneas, con aportes de trasvases y el creciente uso de aguas desaladas y regeneradas.

Entre los trasvases dedicados al regadío destacan el Tajo-Segura (377 hm³/ año), el Júcar-Turía (115-52 hm³/ año), el Ebro-Tarragona (80-60 hm³/ año) o el de Negratín-Almanzora (hasta 50 hm³/ año). El trasvase del Tajo-Segura es una de las mayores obras de la ingeniería realizadas en España y permite trasvasar agua de la cuenca del Tajo hacia el sureste español mediante una red de canales, túneles y estaciones de bombeo que permiten salvar una distancia de casi 300 kilómetros.

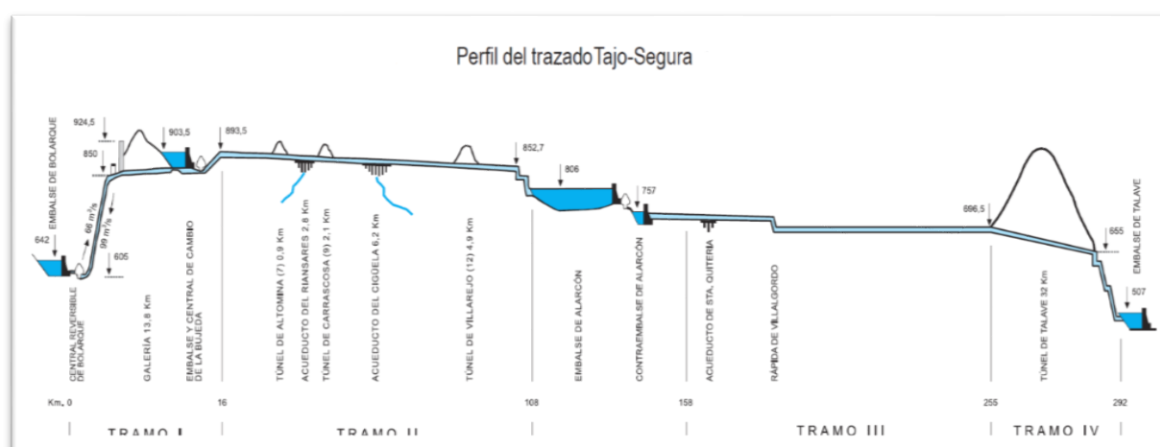


Ilustración 1. Perfil del trazado Tajo-Segura. Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura

En la siguiente gráfica podemos observar el caudal derivado del embalse de Buendía ubicado en la cabecera del Tajo:



Gráfico 1. Aportación hídrica del Tajo al trasvase del Segura

Otra de las principales fuentes de aprovechamiento hídrico ha sido la extracción de aguas subterráneas. La explotación de acuíferos se intensificó desde 1955, sobre todo en la vertiente Mediterránea donde las zonas áridas no son capaces de proveer toda el agua que necesitan los sistemas agrícolas. La naturaleza de las precipitaciones en esta área junto a la litología asociada ha permitido la formación de extensos acuíferos.

Hasta la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985, las concesiones de sondeos y explotaciones de pozos a la empresa privada permitió incrementar de forma exponencial las hectáreas de regadío con agua subterránea.

En la región del sureste peninsular, la documentación oficial evidencia dos periodos de intensa exploración de nuevos pozos que tienen lugar en los años 1956-1965 y 1978-1985, con un ritmo anual de 170/200 pozos en el primer periodo, y una media de 400 en el segundo (Garrahou y Naredo, 1999).

La entrada en funcionamiento de nuevos embalses, la explotación de las reservas subterráneas, así como el uso intensivo de las aguas superficiales ha permitido a España convertirse en la huerta de Europa, triplicando la superficie irrigada en menos de 100 años (Gráfico 2).

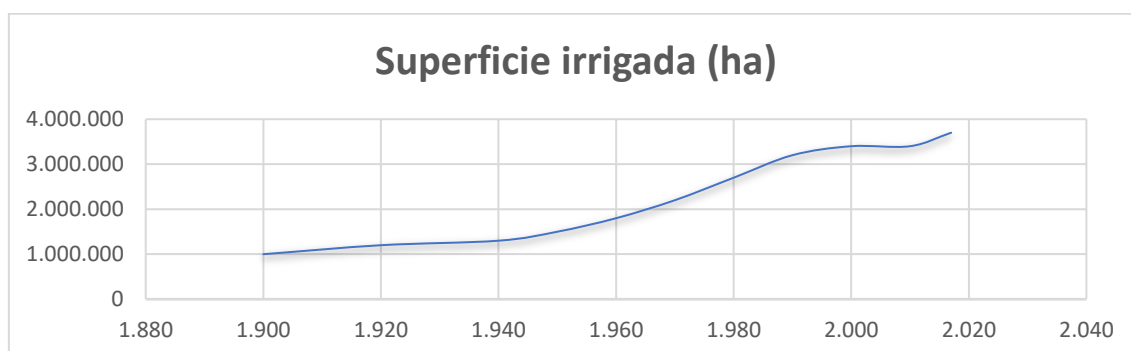


Gráfico 2. Evolución de la superficie regada en España

1.2.3 Conversión de tierras de secano en regadío

Se ha ganado terreno al cultivo de secano gracias a la distribución del agua hacia cotas más altas como ponen de manifiesto los datos estadísticos, en este caso de la Cuenca del Segura, que indican que entre 1960 y 1992 se ha pasado de 25.767 Ha de secano a 13.117. Por el contrario, el regadío habría evolucionado para ese periodo de 29.064 Ha a 52.910 gracias a la importante puesta en riego de terrenos hasta entonces improductivos o con escasos rendimientos (Canales y Juárez, 1994).

La agricultura de secano proporcionaba pérdidas económicas a pesar de las buenas condiciones edáficas debido a su baja productividad lo que provocaba unas peores condiciones de cultivo en comparación con el regadío que ofrecía mayores rendimientos tanto productivos como económicos. Según los estudios realizados por la Comunidad de Regantes de San Onofre-Torremendo, la transformación de una superficie de secano a regadío arrojaba unos incrementos en los valores de producción de 1.741% elevándose a 4.536% si contamos los beneficios empresariales (Canales y Juárez, 1994).

Este aspecto económico obligaba a todos los actores del campo español a decantarse por el sistema más productivo cuando hubiese posibilidad de disponer de agua. Según la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE), el secano español ha perdido casi un 10 % de su superficie desde el año 2000 hasta la

actualidad, siendo abandonadas la mayoría de esas tierras y ocupándose una pequeña fracción en el ámbito del regadío con un aumento de más de 330.000 Ha para el mismo periodo de tiempo.

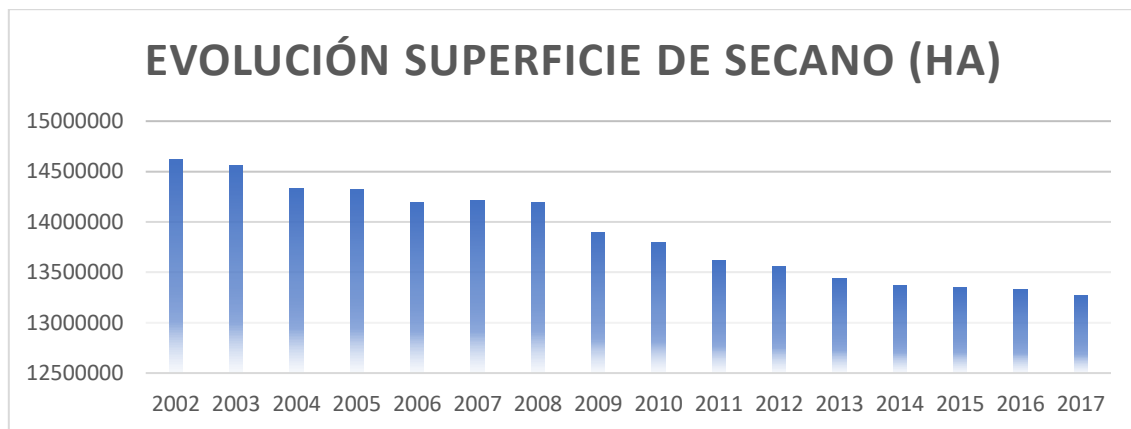


Gráfico 3. Evolución de la superficie de cultivos de secano

1.2.4 Modernización de las técnicas de regadío

La modernización e incorporación de nuevas técnicas de regadío permite utilizar el agua más eficientemente lo que aumenta la productividad de las explotaciones con un menor consumo de agua. Aunque dichas técnicas precisan de un mayor consumo de energía para bombear el agua y distribuirla por la superficie, pueden ser actualmente satisfechas siendo el principal factor limitante el agua. Se ha producido un cambio en los métodos de riego, desechándose los tradicionales (riego en superficie) por los más modernos y precisos riegos presurizados, que abarcan desde el riego por goteo hasta el de aspersión.

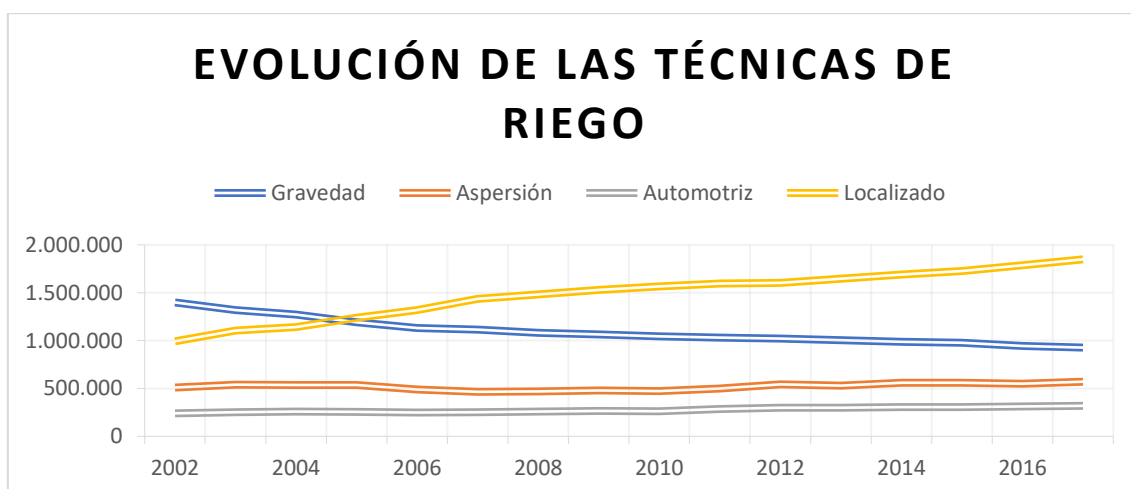


Gráfico 4. Evolución de las técnicas de riego 2002-2017

La implantación de estas técnicas no parece haber disminuido el consumo consuntivo de los recursos hídricos, sino que han conseguido tal grado de eficiencia en el riego que impide el retorno a los demás usuarios, que a su vez deberán consumir nuevos recursos (Hardy y Garrido, 2010). La optimización del uso del agua favorece la extensión del cultivo intensivo, luego el recurso que se ha podido ahorrar con estas técnicas pasa a consumirse por el aumento de la eficiencia. Este fenómeno, o efecto rebote, puede llegar a suponer un incremento del consumo del agua pese a tener una lógica contraria.

Numerosos autores han recopilado información en las diferentes cuencas hidrográficas españolas señalando una evidencia contrastada en el aumento del consumo hídrico debido a este efecto rebote (Playán y Mateos (2006), Lecina et al. (2010), Berbel et al (2015). En la siguiente figura elaborada por González a partir de los datos calculados por Lecina y Berbel podemos observar la magnitud de este aumento del consumo para la cuenca del Ebro y del Guadalquivir.

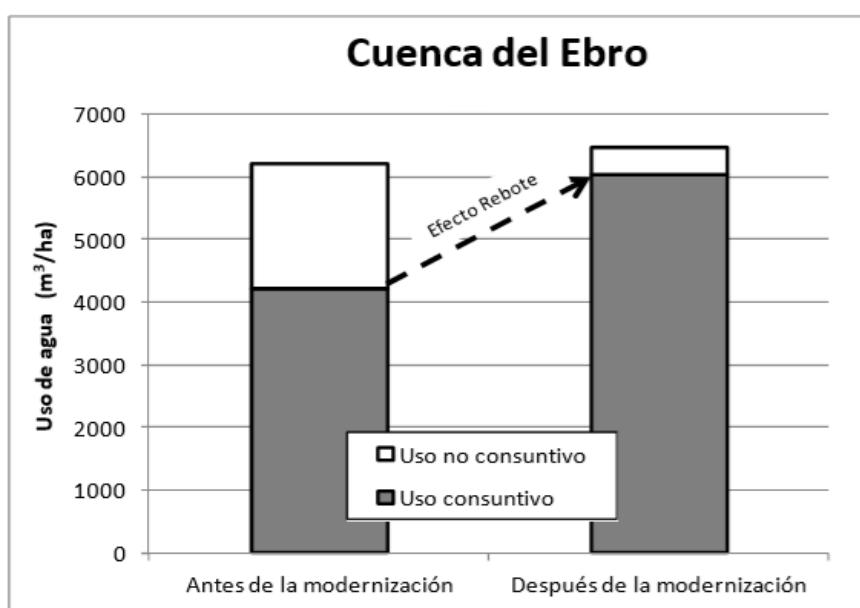


Figura 1. Efecto rebote debido a la modernización en el riego en la cuenca del Ebro. Elaborado por González Cebollada

Para 122.929 hectáreas analizadas se observa un aumento del efecto rebote del 42% después de la modernización de las técnicas de riego en la zona del Alto Aragón, suponiendo a su vez un aumento del consumo de agua total del 4%. En el caso de la cuenca del Guadalquivir, las 36.000 estudiadas por Berbel et al. evidencian en este caso una reducción del consumo de agua total, aunque se mostraría un aumento del uso consuntivo del 23% lo que implicaría la presencia de un efecto rebote importante

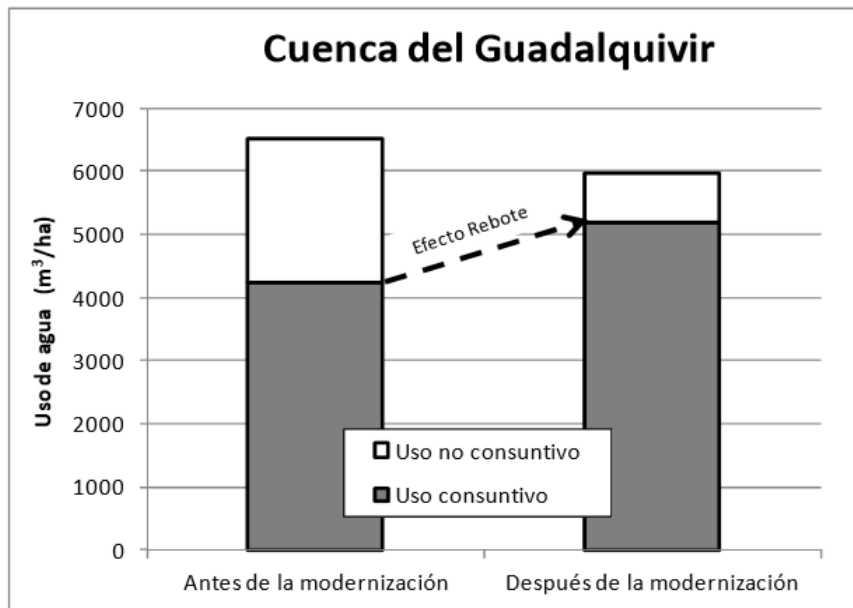


Figura 2. Efecto rebote debido a la modernización en el riego en la cuenca del Guadalquivir. Elaborado por González Cebollada

1.3 Aumento de la demanda de agua de consumo humano

Hasta mediados del siglo XIX, tanto las ciudades como las zonas rurales se abastecían de agua de pozos o fuentes para el consumo humano. El posterior aumento de la población unido a una mejora de las condiciones higiénicas y una mayor demanda por parte de la industria requirió del incremento del suministro de agua. Se comenzó a construir en las ciudades una red de abastecimiento que permitía disponer de agua en las propias viviendas, medida que acabaría siendo implantada posteriormente y de forma más gradual en el territorio rural.

El aumento demográfico que tuvo lugar hasta mediados del siglo XX fue excepcional, llegando a doblarse la población. Como podemos observar en el gráfico 5, la población española siguió aumentando hasta finales de la primera década del siglo XXI, momento que coincidió con la crisis financiera estadounidense que pronto se convertiría en global.

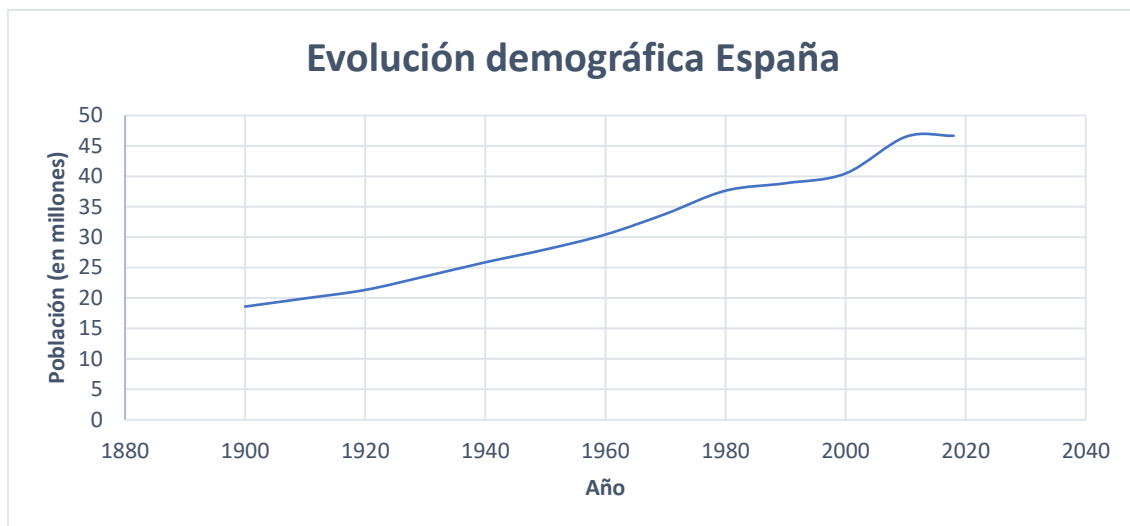


Gráfico 5. Evolución demográfica en España desde 1900. Elaboración propia con datos del INE

La alta tasa de crecimiento fue correspondida con una disminución de la mortalidad española debido al desarrollo de la medicina moderna y al aumento de la higiene que había conseguido la red de abastecimiento urbano, lo que se tradujo en un aumento de la esperanza de vida. Como se puede observar en la siguiente tabla, la esperanza de vida al nacer ha pasado de 34,76 años en 1900 a 83,24 en el año 2018.

	1900	1920	1940	1960	1980	2000	2010	2018
Tasa de mortalidad (%)	28,3	22,3	17,6	8,5	7,7	8,8	8,1	9,1
Esperanza de vida al nacer (años)	34,76	41,15	50,10	69,85	75,62	78,97	81,63	83,24

Tabla 5. Tasa de mortalidad y esperanza de vida al nacer desde 1900. Elaboración propia con datos del INE

La mejora de las condiciones de vida infantil durante la primera mitad de siglo unido a la mejora de la asistencia sanitaria beneficiando especialmente a los mayores de 65 años ha permitido a España ocupar una de las primeras posiciones en el ranking mundial. Sin embargo, la tasa de mortalidad que descendió drásticamente a comienzos de siglo XX se ha quedado estancada desde la década de los 60.

Por otra parte, el crecimiento poblacional ha sido desigual, siendo este más importante en las grandes ciudades debido al éxodo rural. El desarrollo industrial generado a principios de 1900 obligará a una importante parte de la población agraria a dirigirse hacia esos centros de producción hasta la entrada en la Guerra Civil Española. Este acontecimiento marcará un punto de inflexión, modificando el flujo demográfico positivo hacia el campo hasta el final de periodo de autarquía.

Será a partir de 1955 cuando la despoblación rural alcance su mayor intensidad (Collantes, 2007) provocando una demanda de agua potable muy elevada en las grandes ciudades manufactureras.

	<i>Población rural</i>	<i>Población rural / población total (%)</i>	<i>Tasa de variación media anual (%)</i>
1900	9.875.619	54	
1930	11.018.002	48	0,4
1950	11.510.664	42	0,2
1970	9.670.414	30	-0,9
1991	8.668.343	23	-0,5

Tabla 6. Variación de la población rural en España desde 1900. Fuente García Fernández, 1985.

La legislación española que pretendía establecer un consumo mínimo entre los 20 y 50 litros por persona y día antes del siglo XX, calculó según las nuevas demandas una dotación cercana a los 200 litros para las ciudades y 150 para el entorno rural (Matés, 2016). El ritmo de crecimiento de la demanda de agua ha venido influido por el crecimiento urbano, la industrialización y el aumento de la capacidad adquisitiva de la población.

No obstante, esta demanda no solo se ha visto frenada los últimos años si no que tiende a disminuir. Según el Instituto Nacional de Estadística entre 2010 y 2016 el consumo medio en los hogares españoles ha disminuido de 144 litros/ habitante a 136l. La modernización en la red de abastecimiento evitando pérdidas en las conducciones unido a un estancamiento de la economía ha dado lugar a este retroceso en el consumo de agua potable en los municipios españoles.

El incremento del coste unitario del agua, tanto de saneamiento como de suministro, ha acrecentado este cambio en el consumo urbano reduciendo el nivel de explotación de los ríos españoles.

	Año 2010	Año 2016	% Variación
Suministro	0,92	1,17	21,3
Saneamiento	0,59	0,78	24,3
Coste unitario total	1,51	1,95	22,6

Tabla 7. Evolución del coste unitario de agua en España (euros/ m³). Elaboración propia con datos del INE.

En cuanto al origen del agua, el 65,6% del volumen de agua procedió de aguas superficiales, mientras que el 29,6% tuvo su origen en aguas subterráneas. El 4,8% restante, provino de otro tipo de aguas (desaladas del mar o salobres).

1.4 Aumento de la superficie forestal en las cotas medias

Se ha comentado que después del periodo de autarquía se produjo un cambio en el patrón laboral que condujo a un movimiento demográfico negativo para las zonas rurales. El aumento del número de trabajadores industriales y su alta competitividad económica fue proporcional a la destrucción de los puestos agrícolas, favoreciendo un abandono gradual de los cultivos menos rentables.

A menudo estos cultivos se encontraban en pequeños núcleos urbanos, predominando el secano y con una muy baja productividad. Al no poder competir con trabajos más cualificados acabaron siendo abandonados. El trabajo de mantenimiento que requerían estos pequeños cultivos impedía al bosque y los pastos extenderse, pero cuando cesó la actividad la cubierta forestal se instaló sobre ellos.

Dicho cambio de la cubierta en las cabeceras de las cuencas aumenta la demanda de agua de la vegetación forestal como ya se ha demostrado científicamente (Bosch y Hewlett, 1982). Este fenómeno se ha producido en aquellos territorios climáticamente viables para el cultivo, pero no lo suficientemente rentables como para seguir manteniéndolos. Es por ello que el mayor aumento de la superficie forestal se ha dado en la cabecera de los ríos de media montaña.

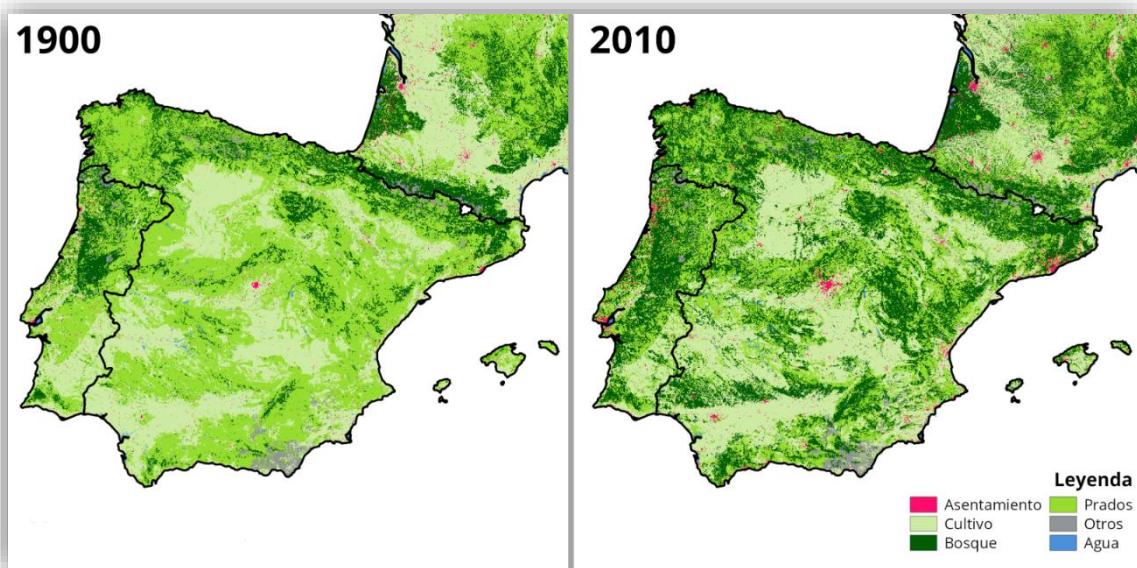


Ilustración 2. Cambio de la cobertura vegetal en España desde 1900. Fuente HILDA, 2.0

En la imagen anterior se puede observar el importante cambio forestal que se ha dado desde 1900 con los datos procesados por el software HILDA 2.0 (Fuchs et al. 2015). Se abandonaron numerosos pastos y tierras de cultivo en altura que acabaron siendo convertidas en bosques mediterráneos. El aumento ha sido menos espectacular en las zonas de alta montaña como los picos de Europa o la cordillera de los Pirineos. Este aumento de la masa vegetal lleva aparejado un aumento del consumo de agua y una disminución de las aportaciones hídricas de los ríos en los cursos inferiores.

Sin embargo, las estimaciones de los recursos hídricos que se han realizado para el Plan Hidrológico Nacional no tienen en cuenta este cambio de la cubierta vegetal ni de la demanda intrínseca. Según un informe llevado a cabo por Francesc Gallart en el año 2000, se pueden observar disminuciones reales de los aportes de los ríos que no se justifican por el aumento del consumo de los sistemas de riego, siendo del 0,2 % en el Bajo Ebro, del 1% en la cabecera del río Tago, y del 2,7% en el río Guadalentín en el embalse de Puentes.

Pese a ello, el proceso de revegetación en cotas medias se está estabilizando al haber tenido tiempo suficiente para ser cubierto por la masa forestal después del abandono. De esta forma, no se prevé un incremento sustancial en la demanda de agua de estas zonas.

Por otro lado, la superficie boscosa en áreas de alta montaña no ha tenido un aumento tan significativo como en cotas medias. Una climatología más severa que retrasa el crecimiento vegetal unido a una conservación de los pastos de montaña ha impedido una variación del entorno. El principal aumento del bosque en estas cotas ha sido debido principalmente a los planes de reforestación de laderas erosionadas o cercanas a importantes vías de comunicación.

Gracias a las ayudas de la Política Agraria Comunitaria a la ganadería extensiva se ha favorecido la permanencia del ganado en áreas de montaña, permitiendo conservar los pastos. Estas actuaciones han tenido una mayor repercusión en municipios con escaso turismo como forma de fijar población durante todo el año que en aquellos donde la práctica de los deportes de invierno es frecuente (Laguna y Lasanta, 2007).

1.5 Variación de las precipitaciones y la temperatura en España

1.5.1 Evolución de la precipitación en España

El territorio español es extremadamente heterogéneo en cuanto al clima y la disposición geográfica de sus entes montañosos. Por ello, podemos encontrar zonas con una elevada variabilidad espacial de las precipitaciones, predominando estas en la costa atlántica y zonas montañosas de interior peninsular. Las precipitaciones de la zona húmeda se caracterizan por mantener una estabilidad a lo largo del año sin que se presenten épocas de sequía prolongada.

Las zonas del interior junto al levante español presentan una imagen totalmente distinta, encontrando numerosas superficies que reciben menos de 300 mm de precipitación media anual y que pueden sufrir sequías estacionales acompañadas de una irregularidad en sus precipitaciones, sucediéndose periodos de gota fría con ausencia de precipitaciones durante un largo espacio de tiempo.

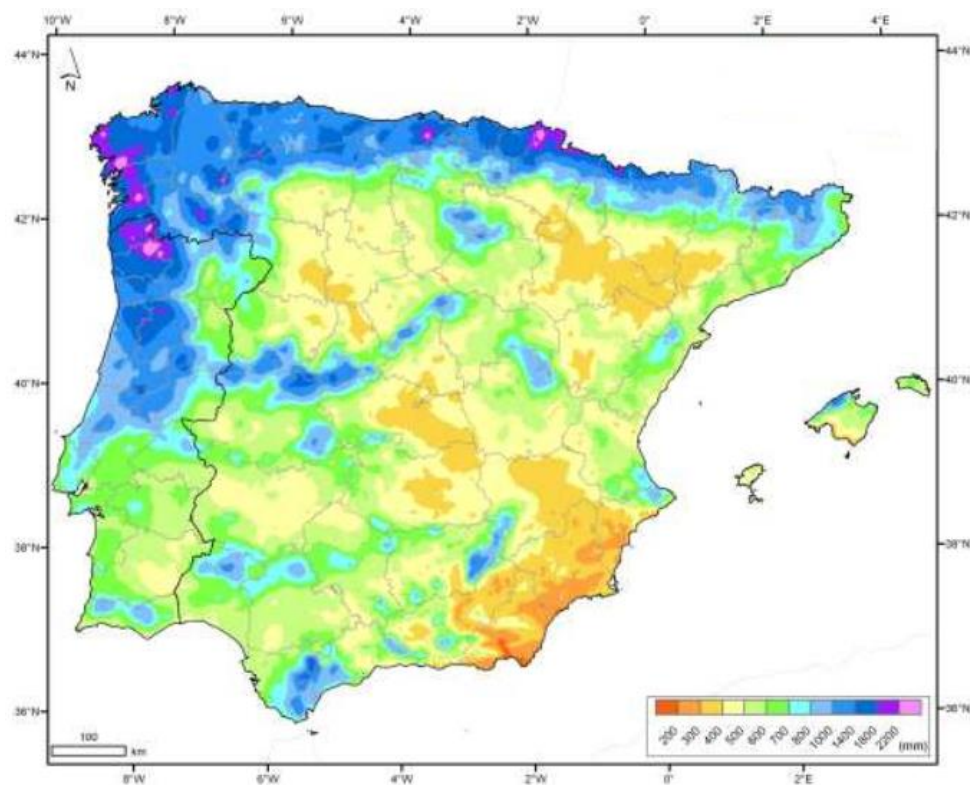


Ilustración 3. Precipitación media anual tomando como referencia el periodo 1971-2000. Fuente: AEMET

Como podemos observar la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones dificulta el estudio de la evolución histórica para la totalidad de la península. Es por ello, que deberemos consultar la bibliografía asociada y extrapolar los datos para poder establecer una tendencia en el comportamiento de la pluviometría.

Por un lado, algunos autores sugieren una disminución de las precipitaciones hacia la mitad sur debido a una variación en la frecuencia con que se manifiestan los frentes atlánticos con las advecciones mediterráneas (Sales et al. 1982). El equipo dirigido por el director emérito del CEAM Millán Millán expone que los cambios en el uso del suelo de la costa del levante podrían explicar el aumento de la irregularidad de las precipitaciones en los sistemas montañosos del interior, pero sin establecer una tendencia clara en cuanto a la variación de la precipitación total (Millán et al., 2005).

Otros estudios se muestran más cautos y no pueden afirmar un cambio significativo en la tendencia de las precipitaciones ni la presencia de ciclos o periodicidades a lo largo del siglo XX (Galán et al, 1999). Aquellos informes que manejan periodos de tiempo más largo tienden a establecer una estabilidad mayor a los que se enfocan en los últimos 50 años.

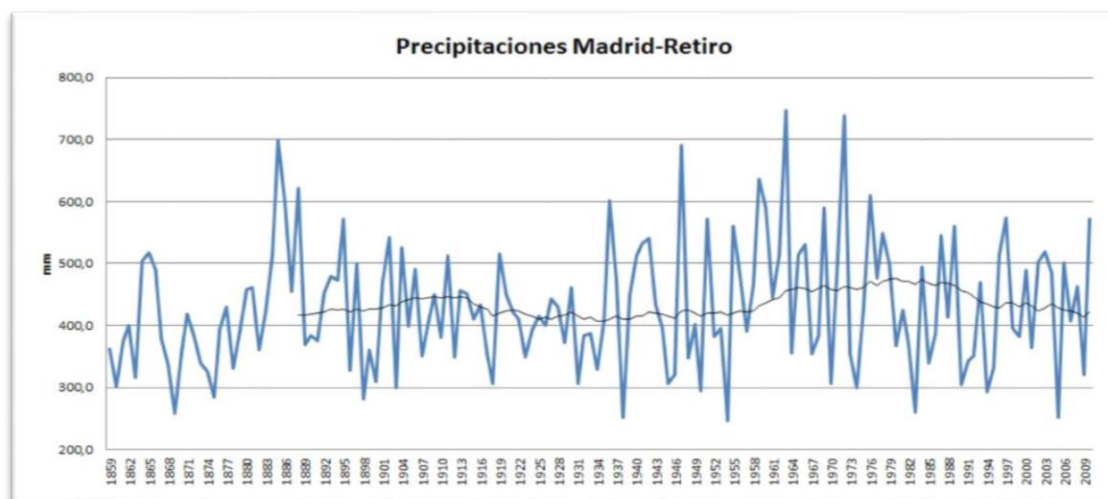


Gráfico 6. Evolución de la precipitación anual en Madrid en el periodo 1859-2009

El único punto en el que se ponen de acuerdo la mayoría de autores es en el incremento de la irregularidad de las precipitaciones y un aumento de los episodios de lluvias torrenciales. En general se puede observar una disminución de las precipitaciones en el sudeste español y una tendencia estable en el resto de la península.

1.5.2 Evolución de la temperatura en España

Se tiene constancia de un incremento de la temperatura generalizada en todo el planeta desde mediados de siglo XX que numerosos autores achacan a un cambio climático influido en mayor o menor medida por las actividades antrópicas. En España cada vez es más frecuente presenciar olas de calor con datos que se van añadiendo a las efemérides.

El material bibliográfico es muy abundante y la mayoría de los autores ofrecen una versión muy parecida ya que la diferencia de temperatura entre las distintas zonas de la península es más estable que la medida de la precipitación y existen largas series temporales que posibilitan extraer una visión más exacta.

Como podemos observar en el artículo de Brunet et al. de 2001, con el análisis del periodo entre 1864 y 1999 y gracias a una red 98 observatorios, se puede dividir en tres periodos diferentes la evolución de la temperatura en España:

Un primer ciclo de gran duración (1864-1949) presentaría una estabilidad con tendencia al aumento de la temperatura ($0,01^{\circ}\text{C/año}$). Le sucede un espacio de tiempo en el que se invierte la tendencia con unos niveles significativos ($-0,03^{\circ}\text{C/año}$) hasta mediados de la década de los 70. A partir, de esta fecha la tendencia se incrementa de forma significativa hasta el presente ($0,07^{\circ}\text{C/año}$).

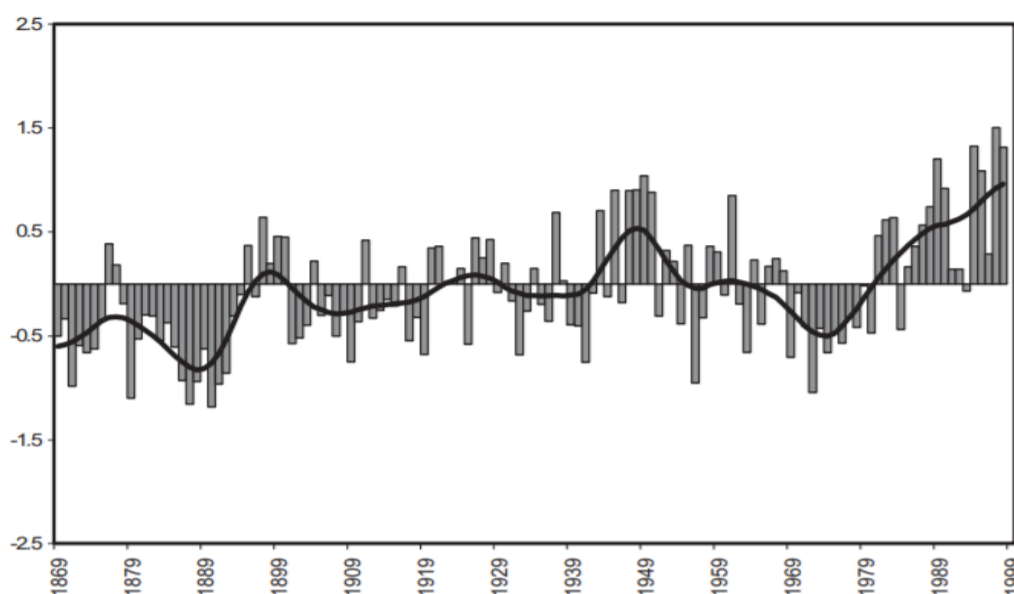


Ilustración 4. Anomalías de la temperatura media anual respecto al periodo de 1961-1990. Fuente: Brunet et al.

En las dos últimas décadas se sigue observando una clara tendencia, no solo en el aumento de la media de las temperaturas, sino en veranos cada vez más largos y cálidos con una mayor frecuencia de las noches tropicales y un repunte de las olas de calor.

Estudiando la evolución de la temperatura media respecto al periodo de referencia (1981-2010) se confirma una presencia de los meses más cálidos del estudio en la última década (AEMET, 2019).

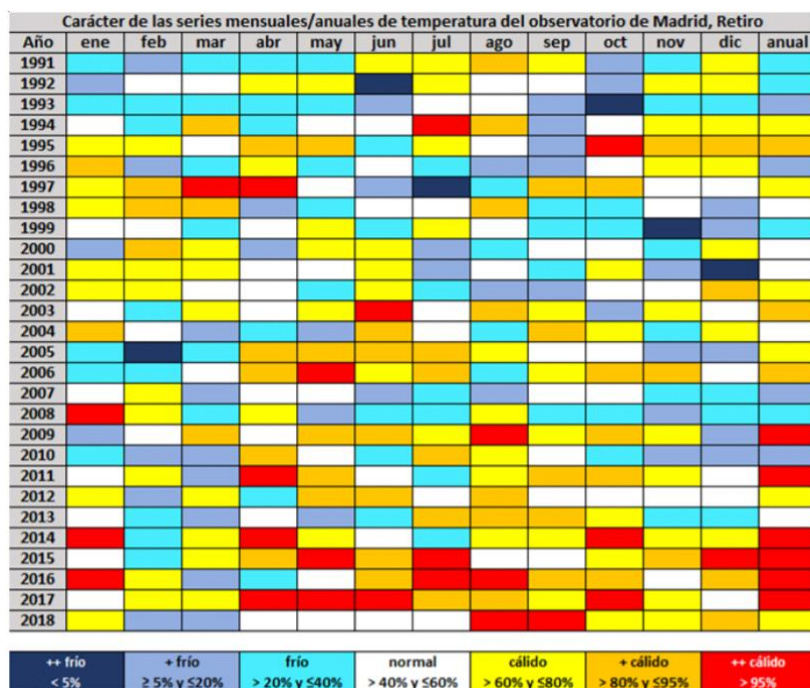


Ilustración 5. Anomalía de la temperatura media mensual respecto al periodo de referencia 1981-2010. Fuente: AEMET

A su vez, el reservorio de calor más importante de la zona de levante, el mar Mediterráneo, está aumentando también su temperatura lo que afirma la tendencia generalizada para toda la península.

En concreto, para el periodo de 1982 a 2016 a ha aumentado de media 1,27° C, siendo menor en el sureste peninsular (1°C) que en el litoral de Cataluña (hasta 1,5° C superior) (Pastor et al., 2017).

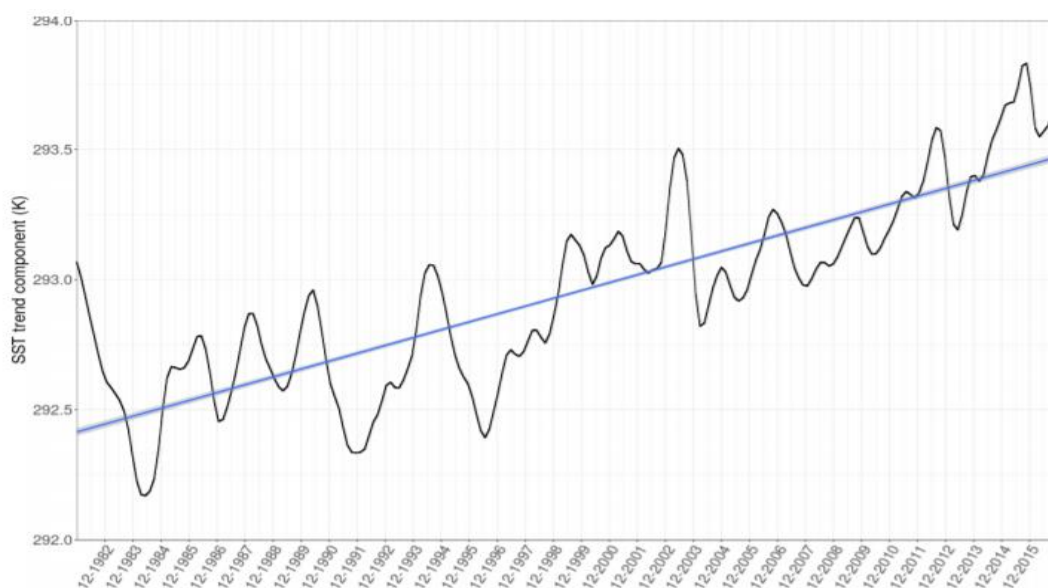


Gráfico 7. Evolución de la temperatura media del Mar Mediterráneo en el periodo 1982-2016. Fuente: CEAM

La evapotranspiración real ha disminuido ligeramente desde el año 1941 al contrario que la evapotranspiración potencial lo que resulta en un aumento del déficit hídrico que se verá compensado por un mayor consumo de los recursos.

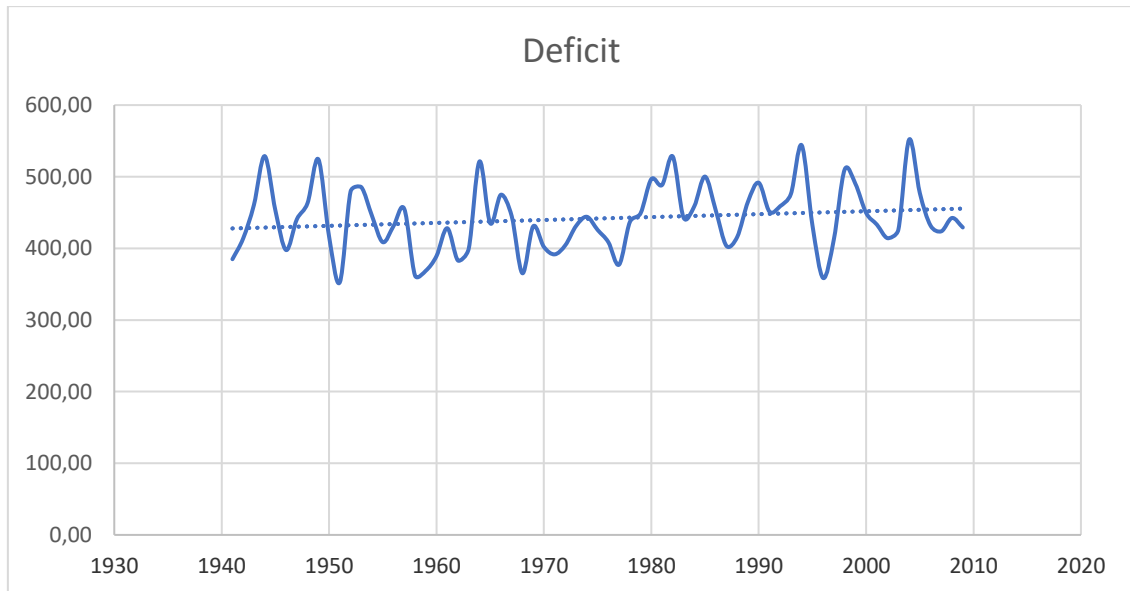


Gráfico 8. Evolución del déficit hídrico desde 1941, expresado en mm de agua.

El déficit hídrico para la península ha aumentado una media del 6%.

2.- OBJETIVOS

El objetivo principal de este Proyecto Final de Carrera es:

- Analizar los datos históricos de las aportaciones hídricas de los principales ríos españoles y sus afluentes desde que existen mediciones.

Como objetivos específicos del Proyecto Fin de Carrera se plantean:

- Estudiar analíticamente las tendencias históricas de las aportaciones, en forma de ajustes estadísticos de las series de datos disponibles.
- Analizar los principales factores que afectan a las aportaciones hídricas de los ríos, estableciendo su grado de influencia.
- Agrupar los ríos estudiados por cuencas, por zonas climáticas o por otros criterios para establecer comportamientos específicos o locales de las series de datos.
- Revisar la bibliografía existente sobre el comportamiento de la demanda de agua por sectores

3.- METODOLOGÍA

Se ha trabajado con el anuario de aforos del Ministerio de Transición Ecológica que obtiene sus datos de la “Red Oficial de Estaciones de Aforo” (ROEA) y de las Confederaciones Hidrográficas a las que se han cedido competencias dentro de este ámbito. Para este análisis territorial se ha optado por elegir los aforos más cercanos a la desembocadura de los entes fluviales ya que reducen el impacto que puedan tener los afluentes de los ríos principales y permiten tener en cuenta la demanda hídrica aguas arriba.

El estudio se desarrolla a partir de 1970 porque es una fecha desde la cual se dispone de una cantidad de estaciones con una serie de datos suficientes para un análisis. En algunos casos también se han incluido estaciones con registros superiores a los 100 años, lo que permite observar una evolución más fiel de las aportaciones y demandas hídricas.

Por tanto, se ha trabajado con las estaciones que disponen de más de 40 años de registros y están lo suficientemente cerca de su desembocadura como para aseverar una visión pragmática de los cambios acaecidos durante el estudio. No obstante, se citará una pequeña muestra de ríos que por su elevado caudal no puedan obviarse, independientemente de la cantidad de datos obtenida.

Se ha trabajado con nueve áreas que corresponden en su mayor parte a las Confederaciones Hidrográficas que existen en el Estado español. A su vez, se ha hecho uso de aforos que no pertenecían a una Confederación Hidrográfica, estableciéndose en la misma delimitación que la Confederación más cercana. En este caso se ha dispuesto que los aforos pertenecientes a la división de Galicia-Costa se adhieran al grupo de aforos de la Confederación del Miño-Sil. Así mismo, los aforos ubicados en el País Vasco pasarán a formar parte de la estructura del Cantábrico.

Cada río estudiado presenta los datos de su aportación hídrica anual, así como la extensión de su cuenca receptora. A partir de ellos se genera un gráfico donde se pueden interpretar las variaciones de su caudal por años y la tendencia observada en el periodo estudiado. Posteriormente, se llevará a cabo el análisis de esas tendencias.

Debido a las vulnerabilidades que presenta la regresión lineal simple para estudiar las tendencias de series con una cantidad de años insuficiente como es en nuestro caso se utilizará el Test de Mann-Kendall para estudiar la posibilidad y el comportamiento de la tendencia de cada río y la técnica de análisis de espectro singular (SSA) que nos permitirá generar un gráfico con una tendencia más realista al poder reducir el impacto sobre cualquier componente oscilatorio y el ruido que aporta el grado de aleatoriedad interanual de la serie.

4. - RESULTADOS

4.1 Ebro

Río (Zona hidrográfica)	Inicio	Fin	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Ebro, Ebro	1951	2014	60	-4,34337	***	-162,530	-249,748	-68,799	-224,279	-84,016
Segre, Ebro	1949	2014	63	-4,66184	***	-34,684	-53,529	-17,579	-48,327	-21,026
Arga, Ebro	1949	2014	61	-3,98889	***	-14,816	-23,514	-6,359	-21,519	-8,638
Ara, Ebro	1951	2014	58	-1,40868		-2,522	-7,170	1,789	-5,970	0,872
Ésera, Ebro	1944	2014	68	-2,30263	*	-3,884	-8,610	0,553	-7,502	-0,658
Irati, Ebro	1931	2014	75	-3,25690	**	-6,277	-11,628	-1,379	-10,012	-2,564
Sotón, Ebro	1944	2014	69	6,30347	***	4,083	2,707	5,691	3,033	5,281

Tabla 8. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Ebro

En la zona hidrográfica del Ebro se observa una tendencia descendente de las aportaciones hídricas según nos muestra los gráficos elaborados gracias al software SSA (análisis de espectro singular). Se presenta una disminución progresiva a principios de la década de los 60 que afecta indistintamente a cada río estudiado, variando en intensidad de uno a otro. Gracias al Test de Mann-Kendall podemos afirmar con un grado de confiabilidad excelente que los ríos Ebro, Segre y Arga arrojan una disminución efectiva de sus caudales por encima de los ciclos hidrológicos supuestos para un estudio como el que se ha realizado. En los gráficos se puede observar una disminución media de los caudales ligeramente superior al 50% (Gráficos 10, 11 y 14), hecho nada desdeñable tratándose de unos de los ríos más importantes de la península.

Por otro lado, disminuyendo el nivel de confiabilidad, pero presentando claras tendencias negativas estarían el Irati y el Ésera (Gráficos 12 y 13) con pérdidas entre el 39 y el 22% de su aportación hídrica al inicio de este estudio. Aunque el Test de Mann-Kendall no pueda afirmar una disminución de los aportes del río Ara, desde 1961 se presenta una mengua constante y ligera hasta hoy en día (Gráfico 9).

En el lado contrario, el río Sotón muestra un aumento de su caudal sin precedentes, llegando a triplicar su caudal desde que se tienen datos (Gráfico 15).

Hacia finales del periodo estudiado se ve una ligera estabilización de todos los ríos manteniendo una orientación estable.

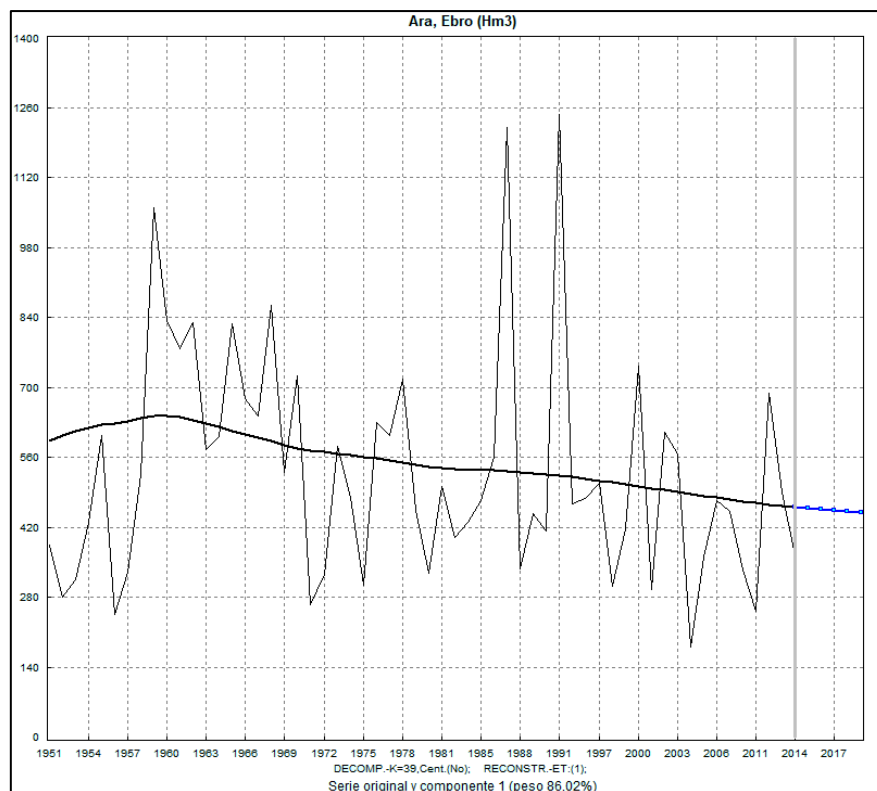


Gráfico 9. Aportación hídrica del río Ara y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

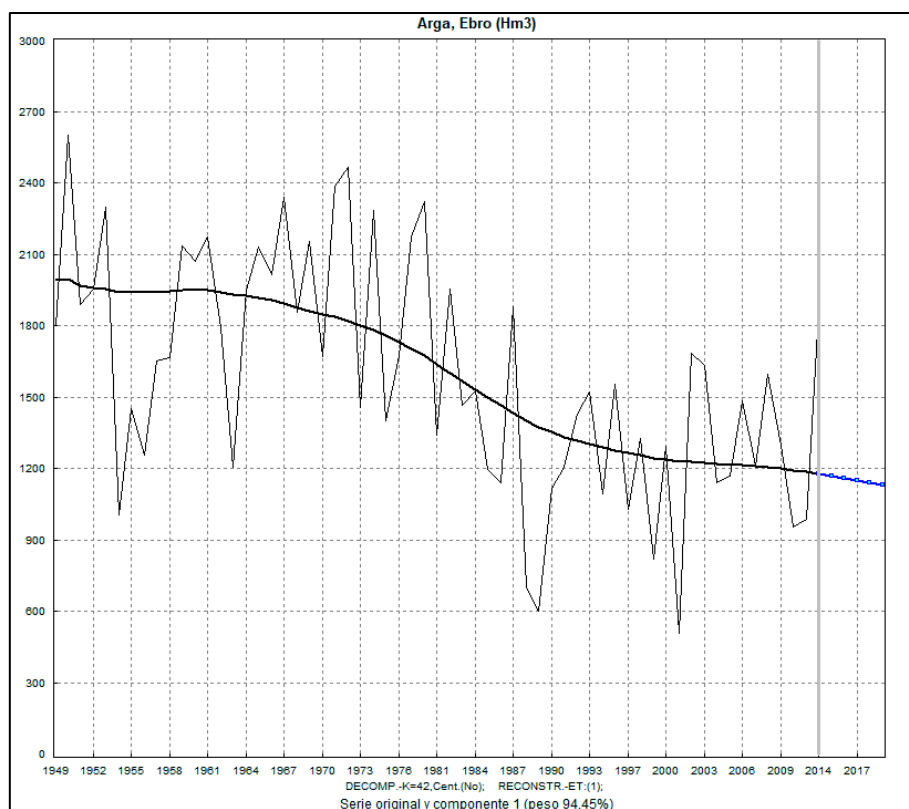


Gráfico 10. Aportación hídrica del río Arga y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

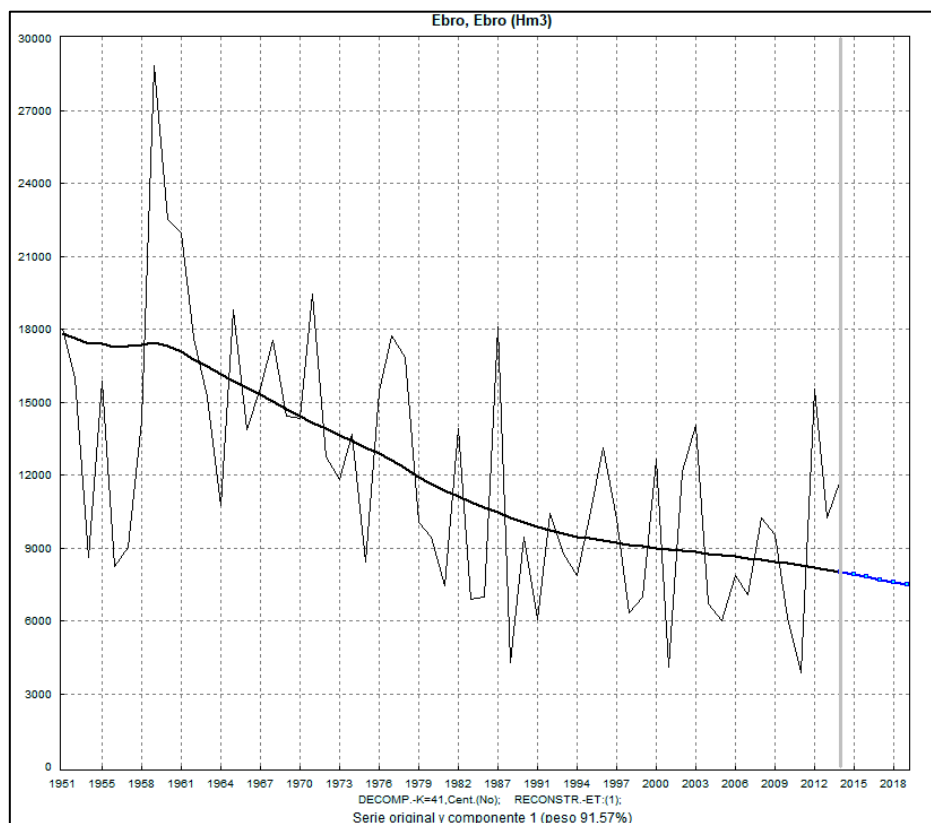


Gráfico 11. Aportación hídrica del río Ebro y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

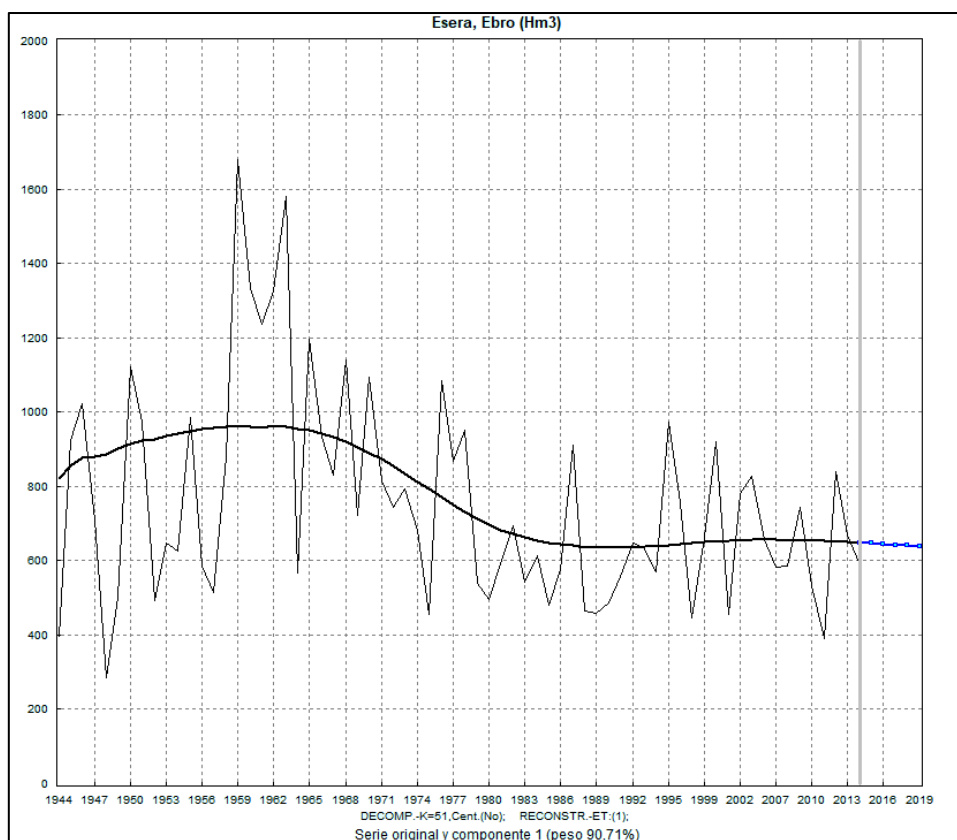


Gráfico 12. Aportación hídrica del río Ésera y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

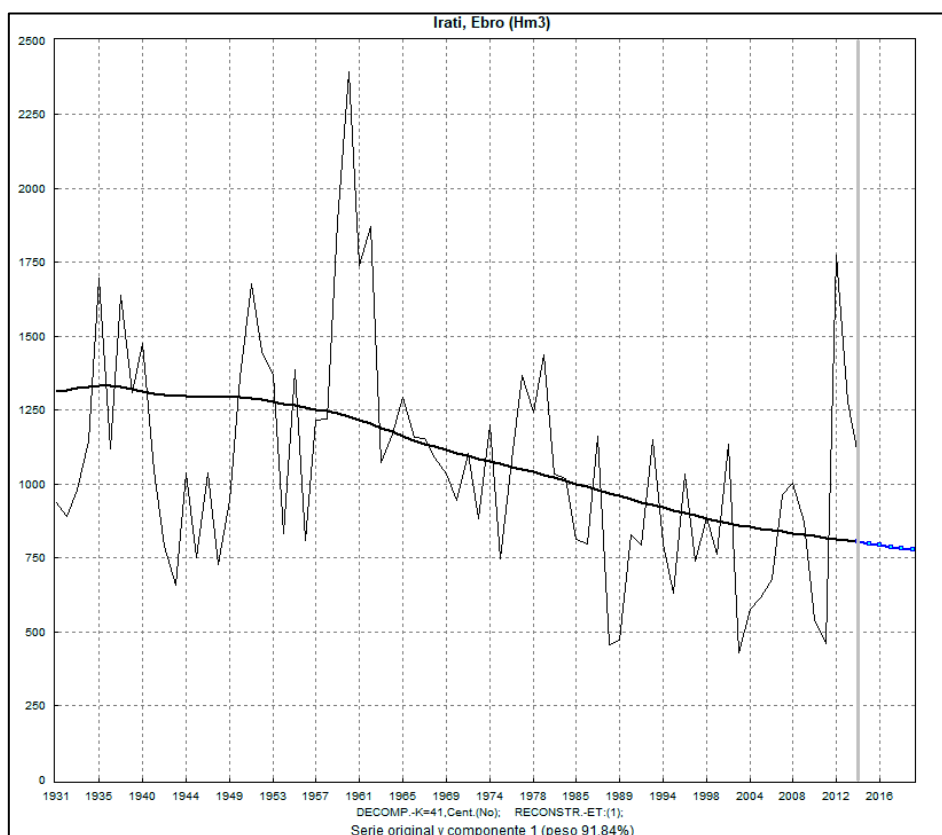


Gráfico 13. Aportación hídrica del río Irati y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

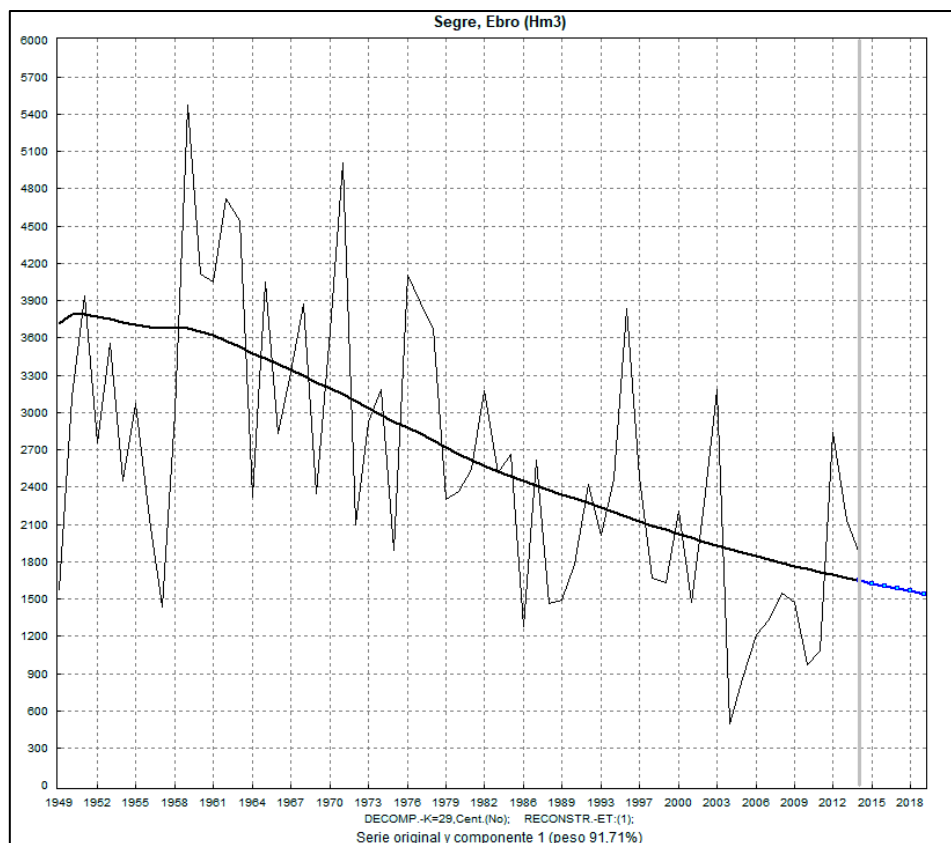


Gráfico 14. Aportación hídrica del río Segre y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

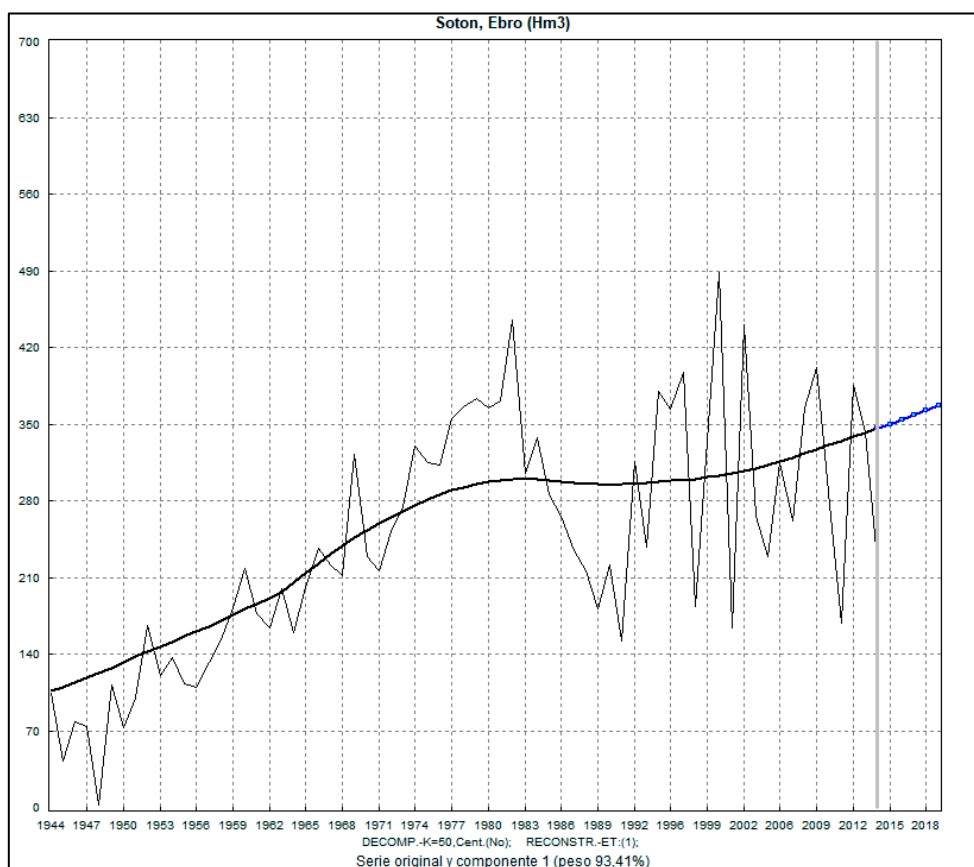


Gráfico 15. Aportación hídrica del río Sotón y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

Los ríos estudiados de la cuenca del Ebro presentan una disminución general de los aportes hídricos. Destaca la reducción de un 40% del caudal en el río Arga en el periodo estudiado y más de la mitad de las aportaciones del Segre y el Ebro. Dichos ríos tienen las mayores superficies de regadío en sus cuencas lo que explicaría esta disminución tan importante.

Por otra parte, el Irati, el Ara y el río Ésera, considerados de alta montaña, han visto reducido sus aportes menos de un 20% manteniendo una estabilidad superior a los grandes ríos.

Merece especial atención el caso del río Sotón que ha llegado a triplicar su caudal en una cuenca en la que la disminución de la escorrentía es la tónica dominante.

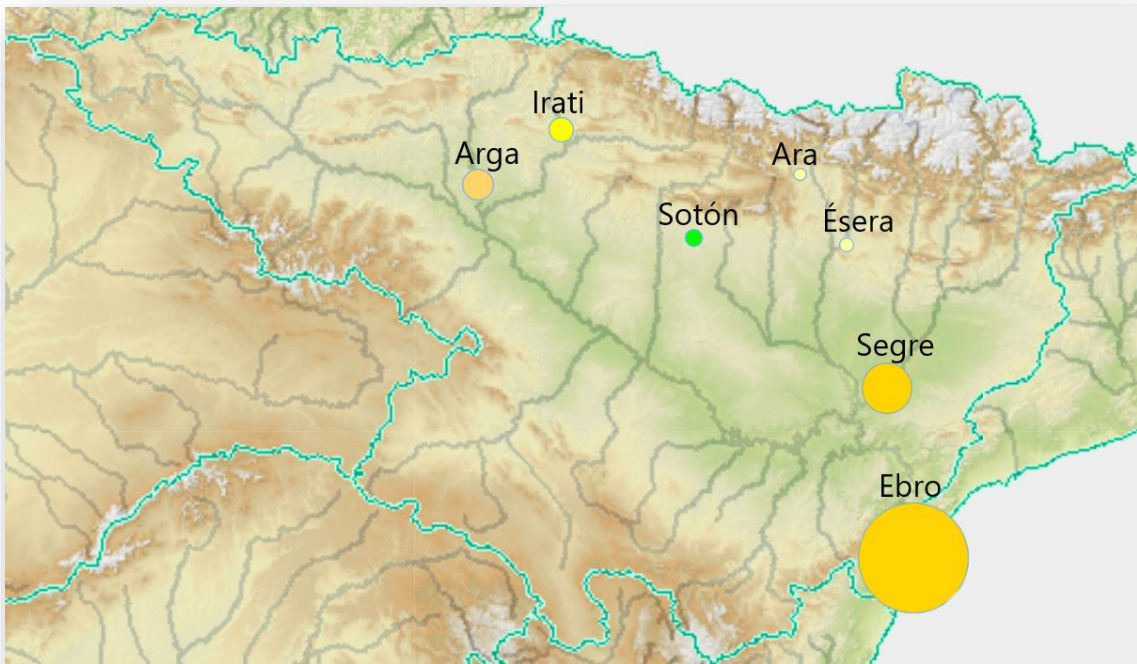


Ilustración 6. Variación del caudal en hm³ en el periodo estudiado respecto del río Ebro.

4.2 Miño-Sil

Río (Zona hidrográfica)	Inicio	Fin	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Miño, Miño-Sil	1943	2014	69	-1,06180		-21,457	-81,995	37,035	-66,995	21,353
Bibey, Miño-Sil	1958	2014	57	-3,47634	***	-17,908	-31,892	-5,305	-28,947	-9,194
Camba, Miño-Sil	1974	2014	41	0,52790		1,483	-4,951	8,908	-3,592	7,314
Campañana, Miño-Sil	1969	2014	46	-1,87469	+	-6,315	-15,333	2,937	-13,189	0,481
Ladra, Miño-Sil	1970	2014	42	0,49852		1,748	-6,647	11,218	-5,029	8,838
Limia, Miño-Sil	1958	2014	55	-0,45009		-0,944	-6,274	5,026	-4,795	3,121
Sil, Miño-Sil	1943	2014	71	-0,71476		-7,732	-40,024	23,149	-30,475	15,086
Tea, Miño-Sil	1970	2014	39	-0,87097		-2,967	-12,313	5,002	-9,872	3,580
Cabe, Miño-Sil	1943	2014	71	0,25811		0,101	-1,103	1,393	-0,812	1,099

Tabla 9. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Miño-Sil.

En general, para el caso de la zona hidrográfica gallega, encontramos tendencias muy estables a lo largo del estudio. Las mayores variaciones, según el test de Mann-Kendall corresponderían con una tendencia negativa para el Bibey (Gráfico 16), el tercer río más importante de esta cuenca hidrográfica. El grado de confiabilidad es excelente, lo que indicaría una significación del 99,9%.

El otro río al que se puede justificar una variación de caudal en el tiempo sería el Campañana. En este caso, aunque el Test de Mann Kendall le otorgue una confiabilidad aceptable a la tendencia negativa, podemos apoyar el supuesto con los datos que se extraen de la SSA (Gráfico 19), que reforzaría la hipótesis.

Por otro lado, con oscilaciones más o menos definidas, pero manteniendo una estabilidad en los aportes hídricos, estarían los demás ríos estudiados como son el Cabe, el Ladra, el Limia y el Miño (Gráficos 17, 20, 21 y 22). Según podemos observar gracias al SSA (Gráfico 23 y 24) el río Sil y el Tea reflejarían una pequeña disminución

del caudal, aunque no tengan una confiabilidad suficiente para poder afirmar este hecho más allá de la interpretación personal. Al igual que estos dos últimos ríos señalados, el Camba parece tener un aumento real de su caudal (Gráfico 18), aunque en este caso el menor tamaño de la muestra estudiada puede llevar a una mala interpretación, aparte de que el Test de Mann Kendall no aprecia una tendencia clara.

Contemplando los datos obtenidos, podemos afirmar que la zona gallega posee una mayor estabilidad que la cuenca hidrográfica del Ebro y sus caudales no se han visto afectados tan negativamente como este último. Una de las causas más probables es que esta región de la península es una de las más lluviosas y los frentes atlánticos descargan primero sobre dicha localización.

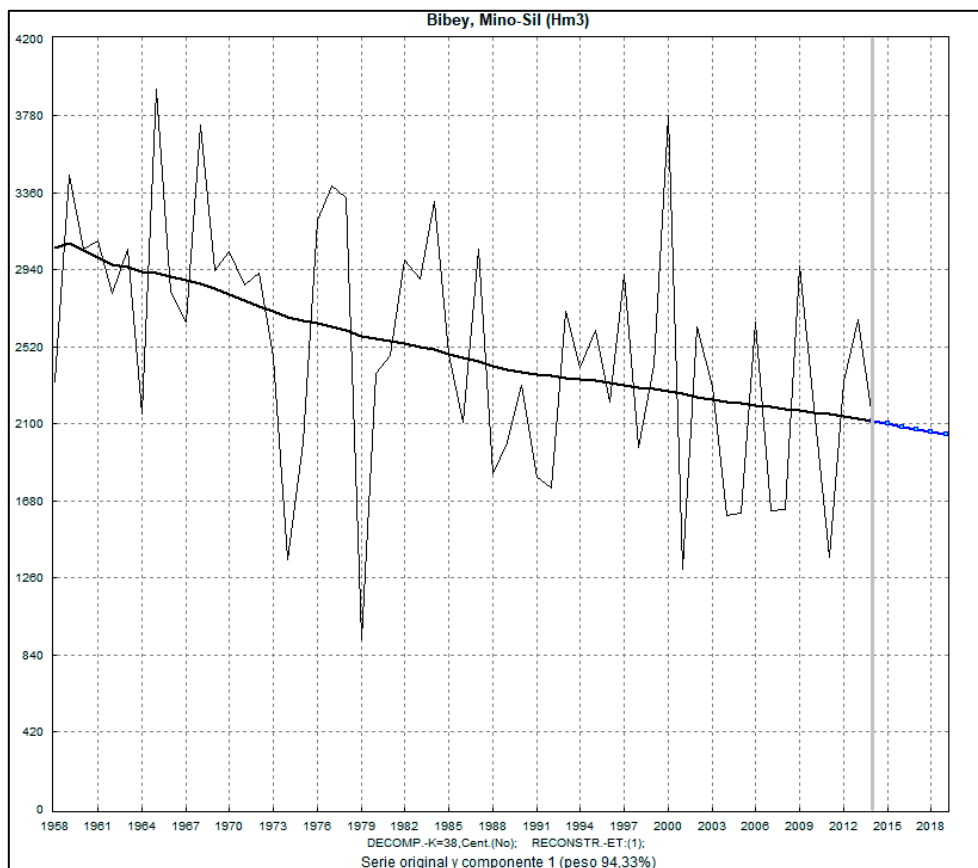


Gráfico 16. Aportación hídrica del río Bibey y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

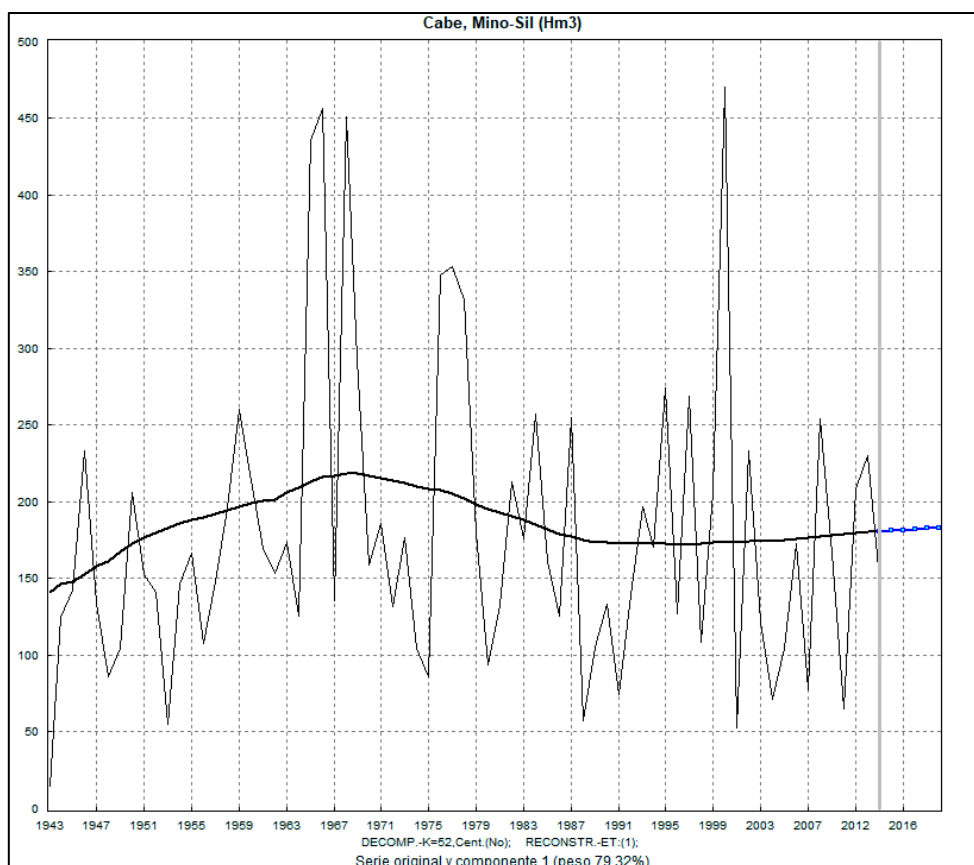


Gráfico 17. Aportación hídrica del río Cabe y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

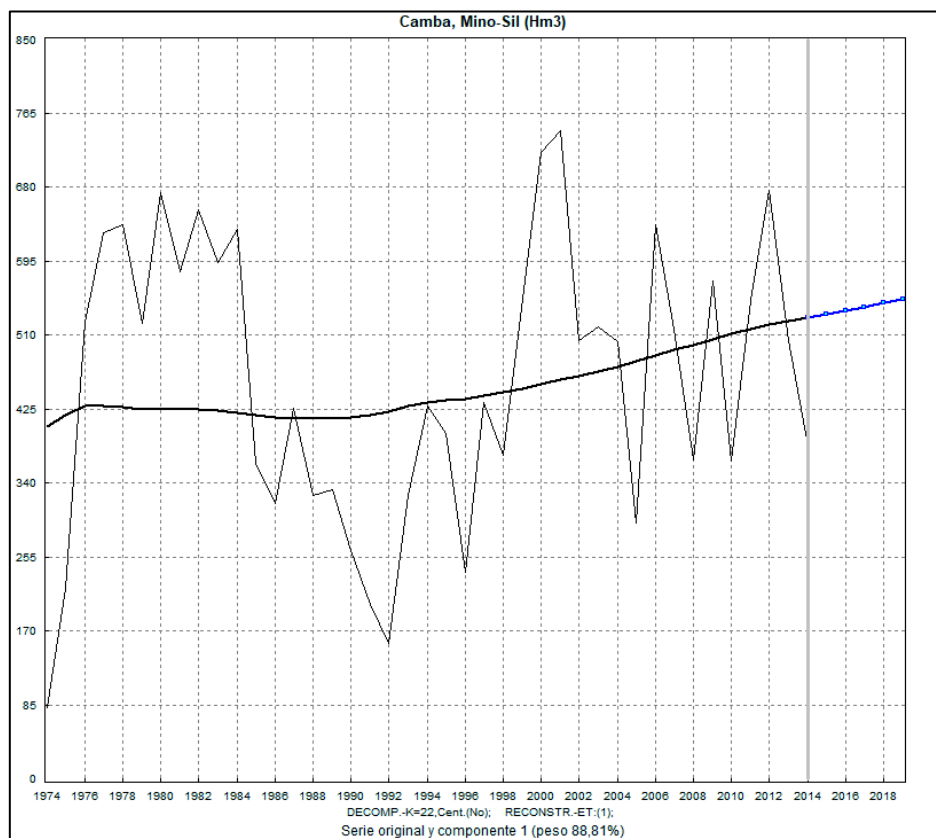


Gráfico 18. Aportación hídrica del río Camba y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

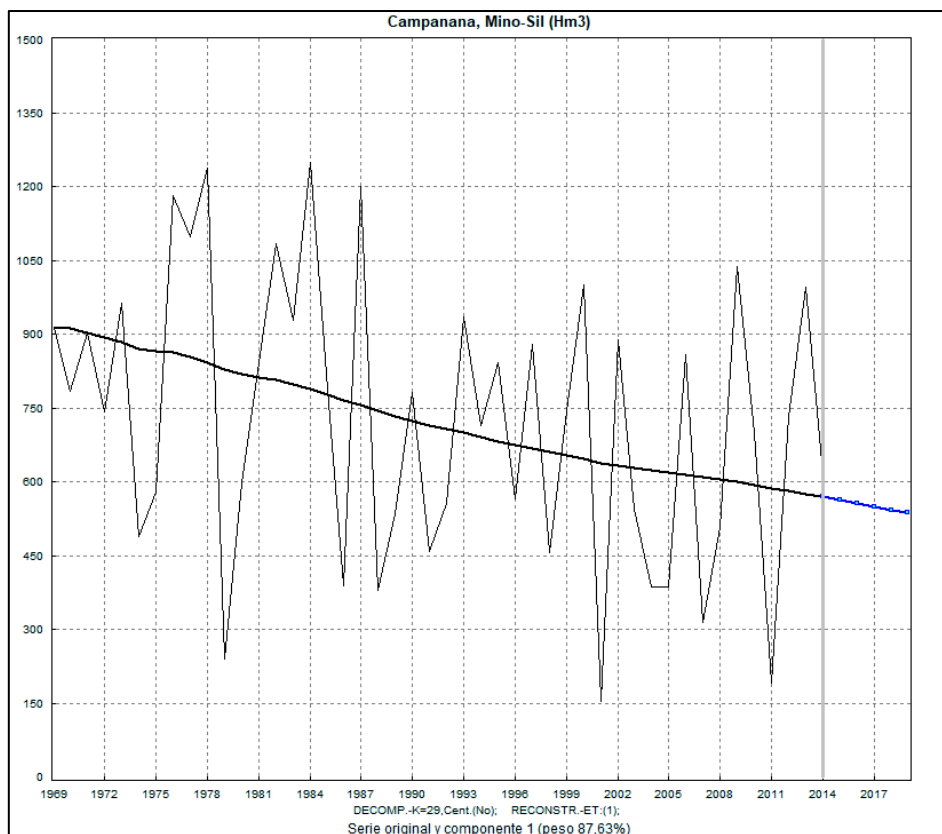


Gráfico 19. Aportación hídrica del río Campanana y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

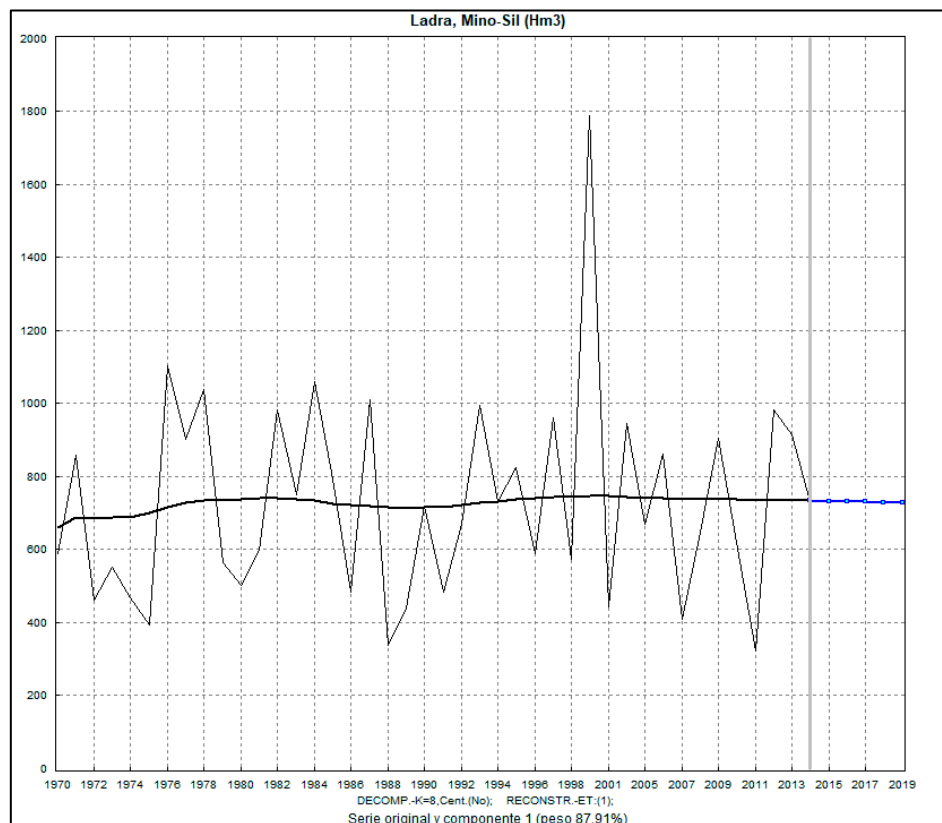


Gráfico 20. Aportación hídrica del río Ladra y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

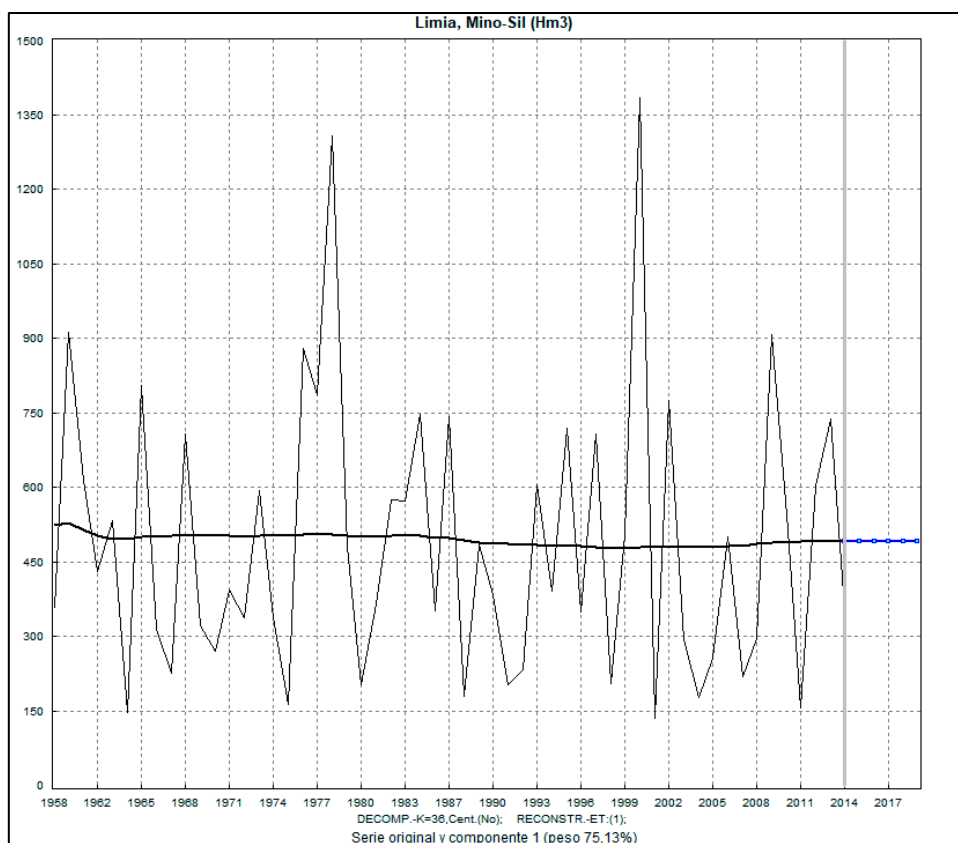


Gráfico 21. Aportación hídrica del río Limia y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

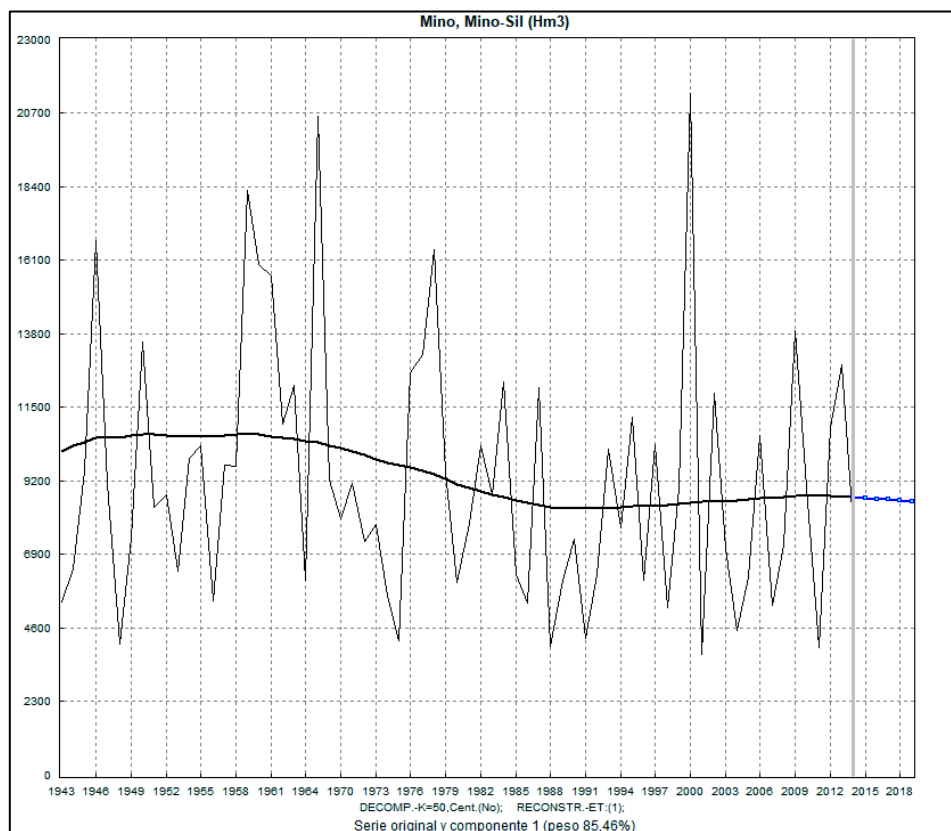


Gráfico 22. Aportación hídrica del río Miño y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

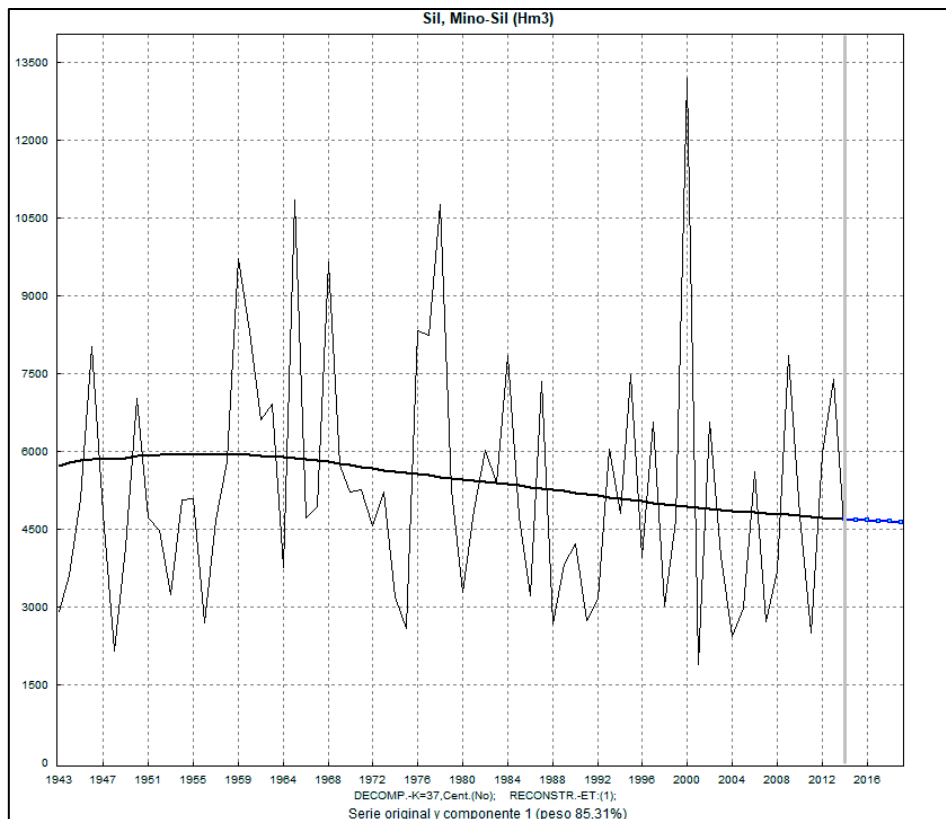


Gráfico 23. Aportación hídrica del río Sil y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

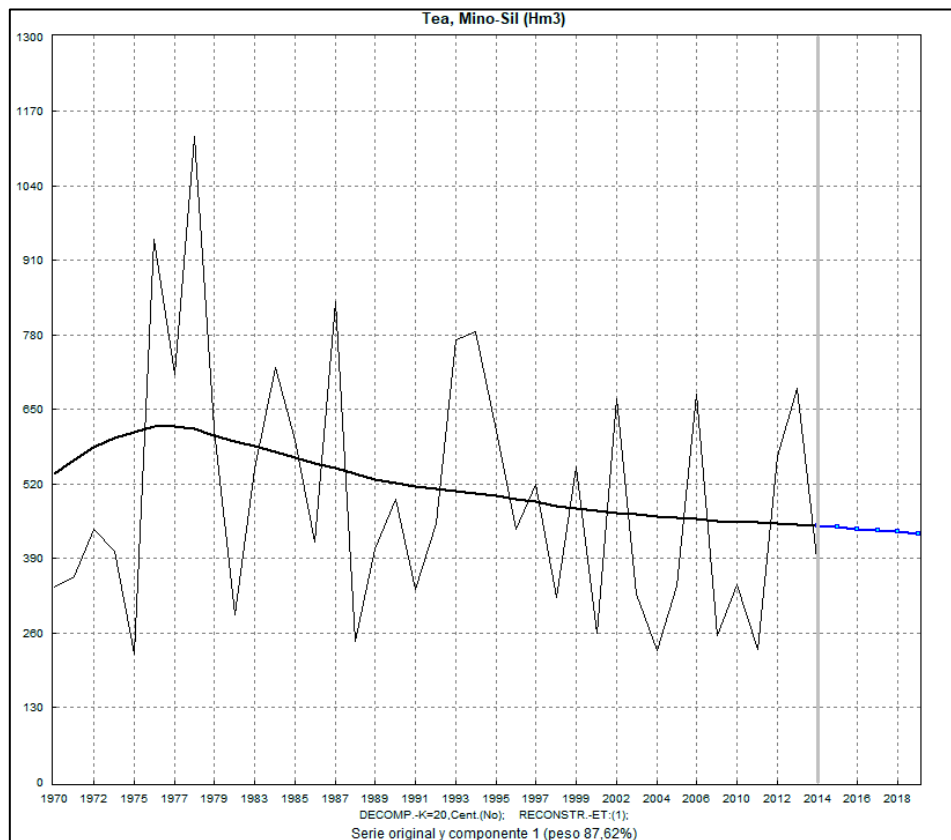


Gráfico 24. Aportación hídrica del río Tea y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

La cuenca hidrográfica formada por los ríos Miño y Sil ha mantenido una tendencia más estable con el paso del tiempo. Las mayores variaciones porcentuales han sido para los grandes ríos destacando un decremento del 31% para el Bibey. Los volúmenes de pérdida total son mayores para el Miño y el Sil debido a su importante caudal, pero ninguno supera el 18%.

El resto de ríos de menor entidad no han sufrido apenas variaciones, incrementándose para el Ladra, el Cabe y el Camba.

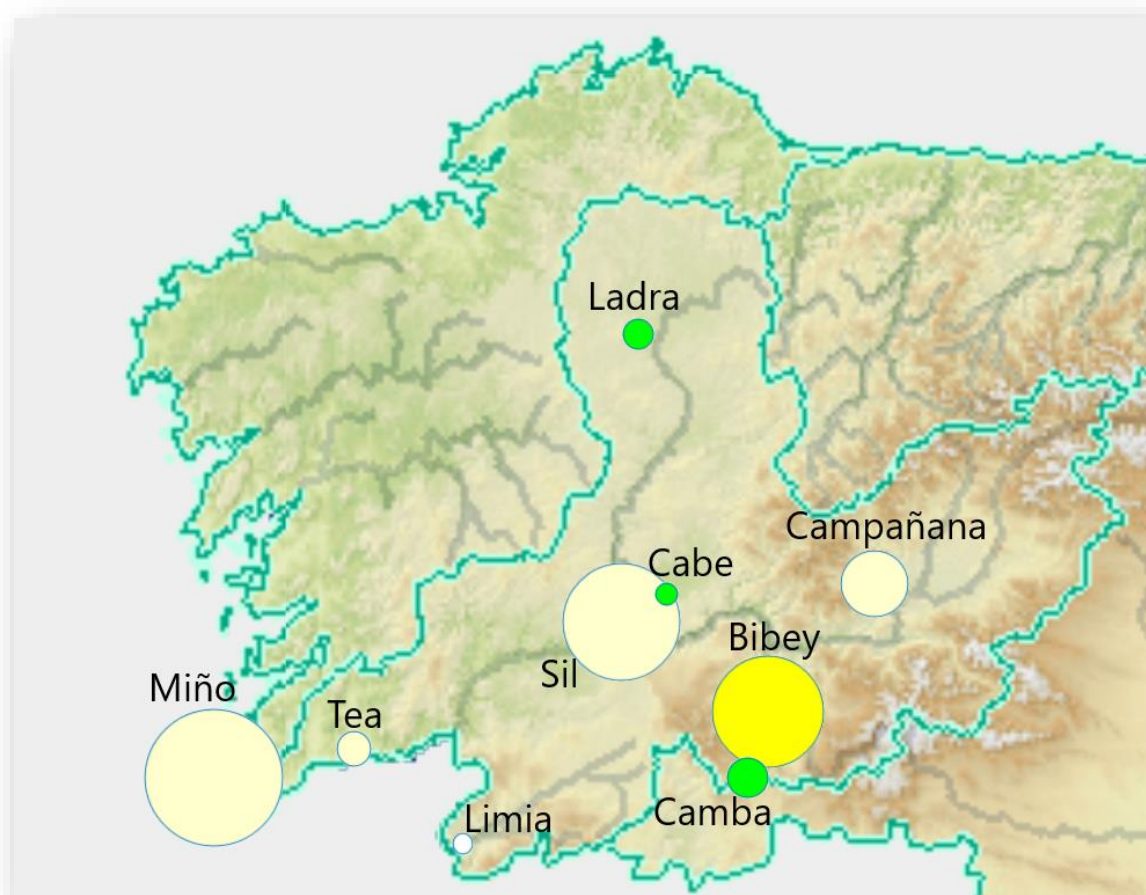


Ilustración 7. Variación del caudal en hm^3 en el periodo estudiado respecto del río Miño.

4.3 Duero

Río (Zona hidrográfica)	Inicio	Fin	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Arlanza, Duero	1931	2014	81	-1,06446		-1,711	-6,859	2,735	-5,444	1,551
Duero, Duero	1956	2014	58	-1,83799	+	-57,709	-138,879	21,549	-123,426	2,684
Esla, Duero	1944	2014	69	-1,62119		-14,456	-41,418	9,768	-36,752	3,769
Órbigo, Duero	1973	2014	39	-0,96775		-4,892	-20,383	11,327	-16,103	6,750
Pisuerga, Duero	1940	2014	75	-0,57636		-2,613	-16,643	11,315	-12,834	7,996
Tormes, Duero	1974	2014	40	1,47968		7,106	-11,095	23,042	-6,110	18,645
Tera, Duero	1974	2014	41	-0,41558		-1,122	-9,371	5,996	-7,046	3,909
Carrión, Duero	1941	2014	74	0,96135		1,014	-2,029	4,043	-1,290	3,214
Porma, Duero	1942	2014	73	0,09048		0,037	-1,598	1,225	-1,179	0,931

Tabla 10. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Duero.

Al igual que para la cuenca del Miño-Sil, la meseta norte del Duero presenta una estabilidad que impide establecer una tendencia general. Se destaca la tendencia negativa observada para el río Duero (Gráfico 27), el tercer río más caudaloso de España, con un grado de confiabilidad aceptable y un valor en el mismo inferior a -1,83. Con un resultado similar, -1,62, el río Esla no llega tener una significación suficiente para afirmar la tendencia negativa que señala el gráfico obtenido por el SSA (Gráfico 28).

Como pasaba en la cuenca gallega, la mayor parte de los ríos estudiados mantienen una tendencia constante, con mayores oscilaciones debido a tener un clima con una menor influencia oceánica. Con una tendencia casi plana en el periodo estudiado se encontrarían los ríos Órbigo, Porma y Tera (Gráficos 29, 31 y 32). Por otro lado, con una mínima variación en el caudal estudiado a largo del periodo observado estarían el Carrión, el Pisuerga o el Arlanza (Gráficos 26, 30 y 25). El comportamiento como se intuye en el gráfico es muy similar, presentando un aumento a finales de los 50 que se

extendería hasta mitad de la década de los 60. A continuación llegaría una pequeña depresión hasta estabilizarse cerca de 1990 e iniciando una lenta recuperación hasta llegar a una relativa estabilidad en el último periodo.

Por último, el río estudiado que tiene una mayor contrariedad entre los métodos utilizados es el río Tormes (Gráfico 33). Según el test de Mann Kendall, pese a no poder afirmar una tendencia positiva, el valor Z (1,48) refuerza el aumento del caudal a lo largo del estudio. Por otro lado, según la SSA desde finales de la década de los 70 se vería una reducción de las aportaciones hídricas tendiendo hacia una constante final. Entre las posibles explicaciones se puede observar que el comienzo del estudio del Tormes corresponde a un periodo donde los caudales de toda la cuenca del Duero estaban en máximos, además que la muestra recogida es inferior a otros ríos, por lo que la variabilidad es mayor y la robustez del estudio menor.

En resumen, se puede declarar que esta cuenca es muy similar en comportamiento a la del Miño-Sil, con mayores oscilaciones, pero con una tendencia estable que señala una pérdida menor al 10 % de los caudales desde que se tienen registros.

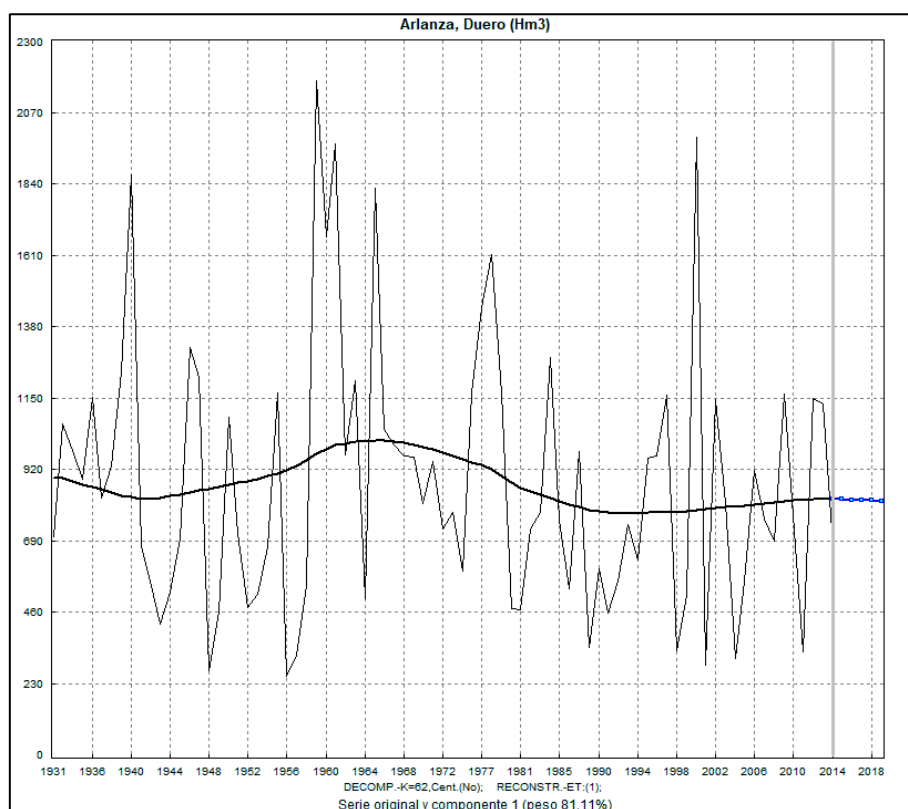


Gráfico 3. Aportación hídrica del río Arlanza y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

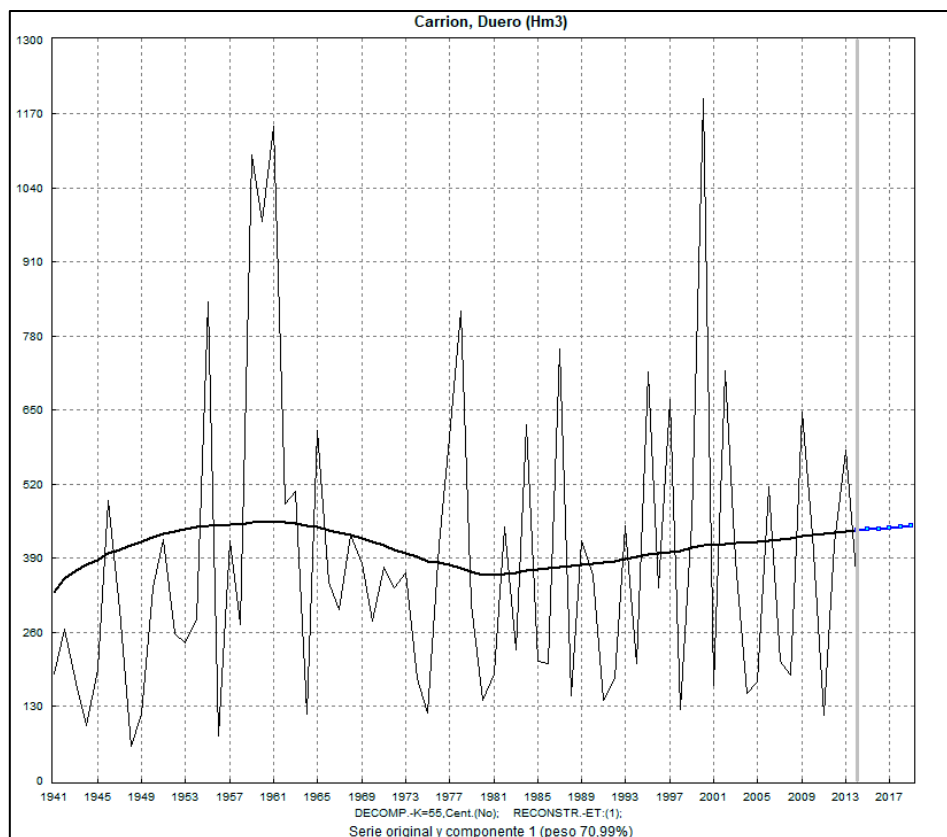


Gráfico 26. Aportación hídrica del río Carrión y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

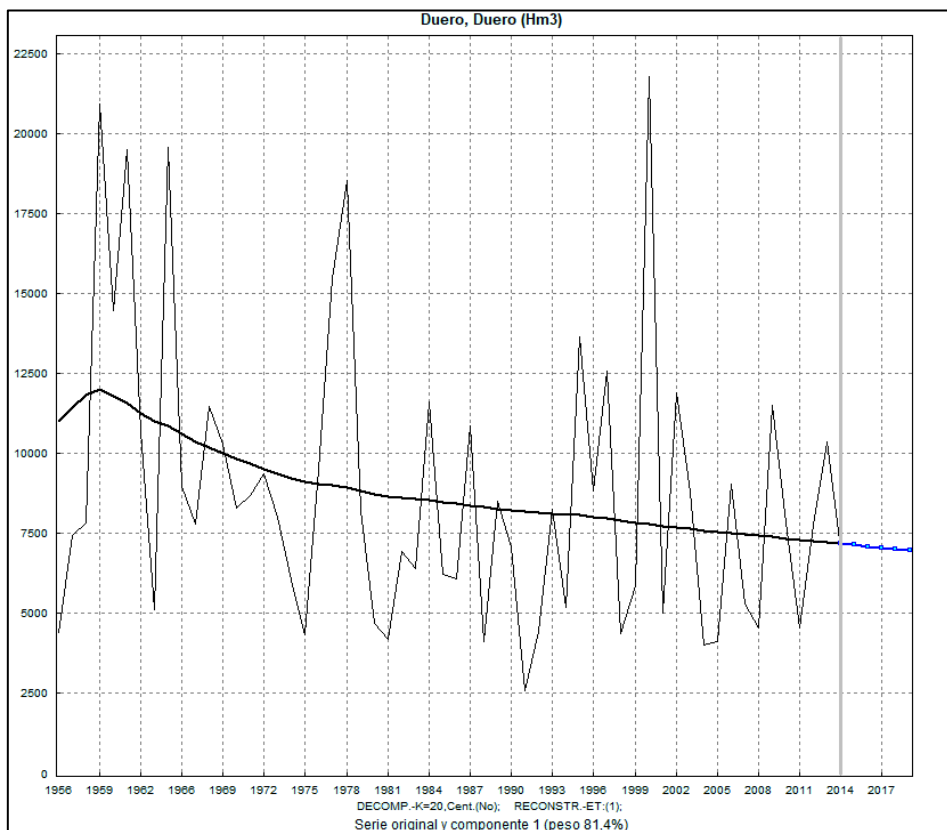


Gráfico 27. Aportación hídrica del río Duero y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

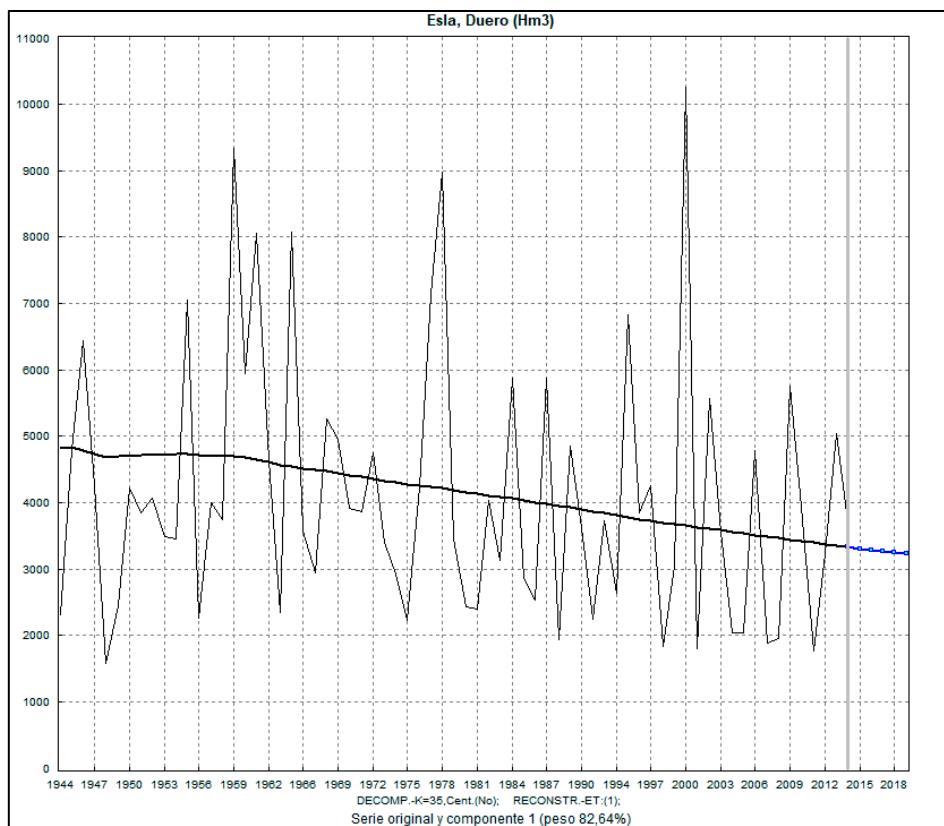


Gráfico 28. Aportación hídrica del río Esla y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

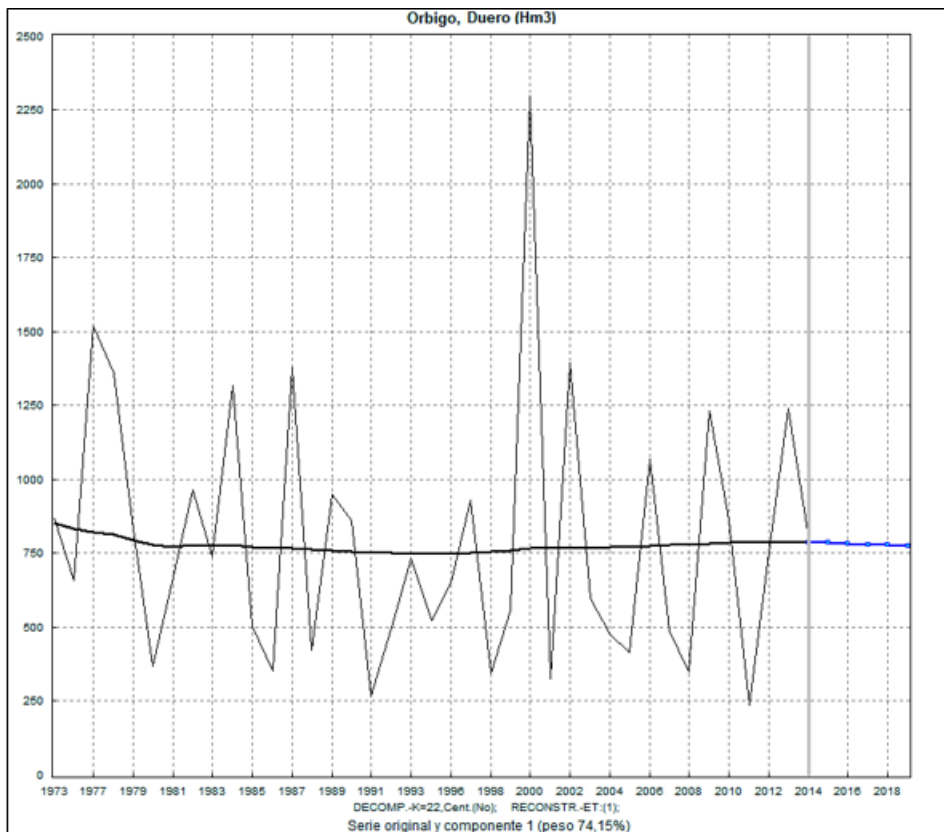


Gráfico 29. Aportación hídrica del río Órbigo y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

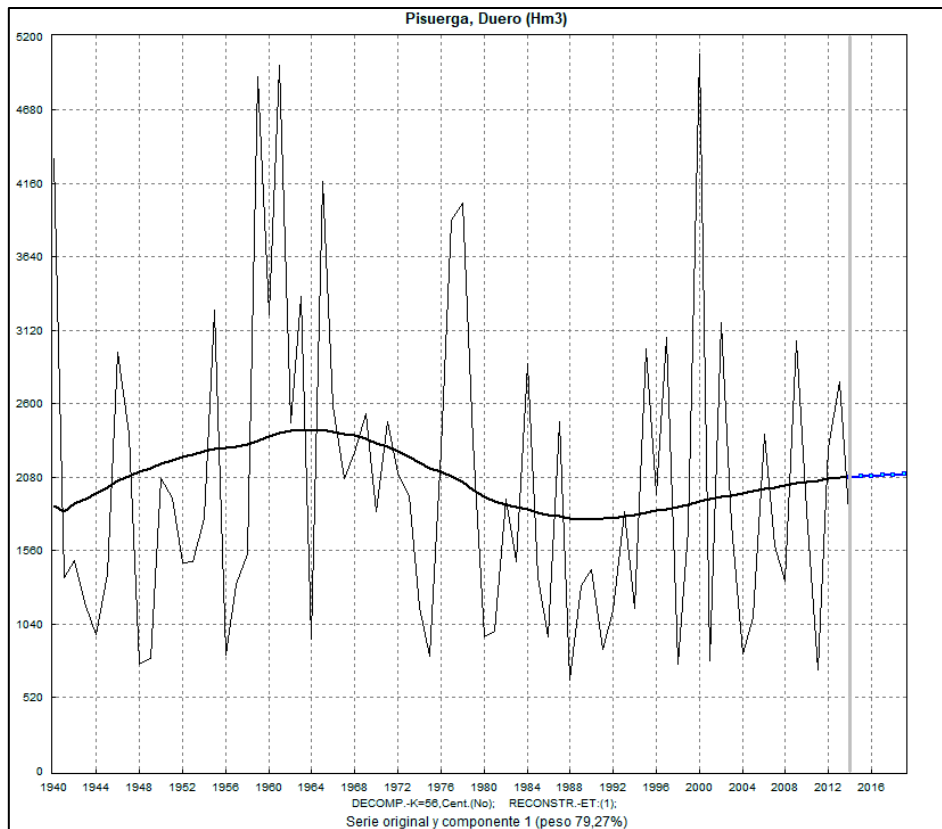


Gráfico 30. Aportación hídrica del río Pisuerga y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

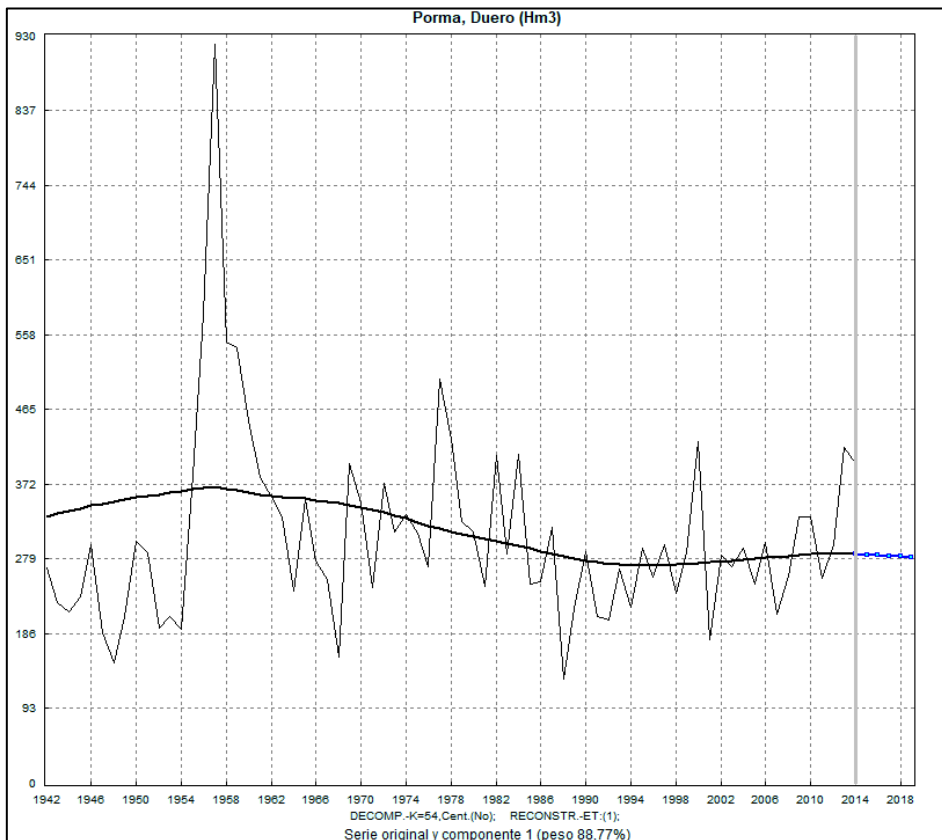


Gráfico 31. Aportación hídrica del río Porma y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

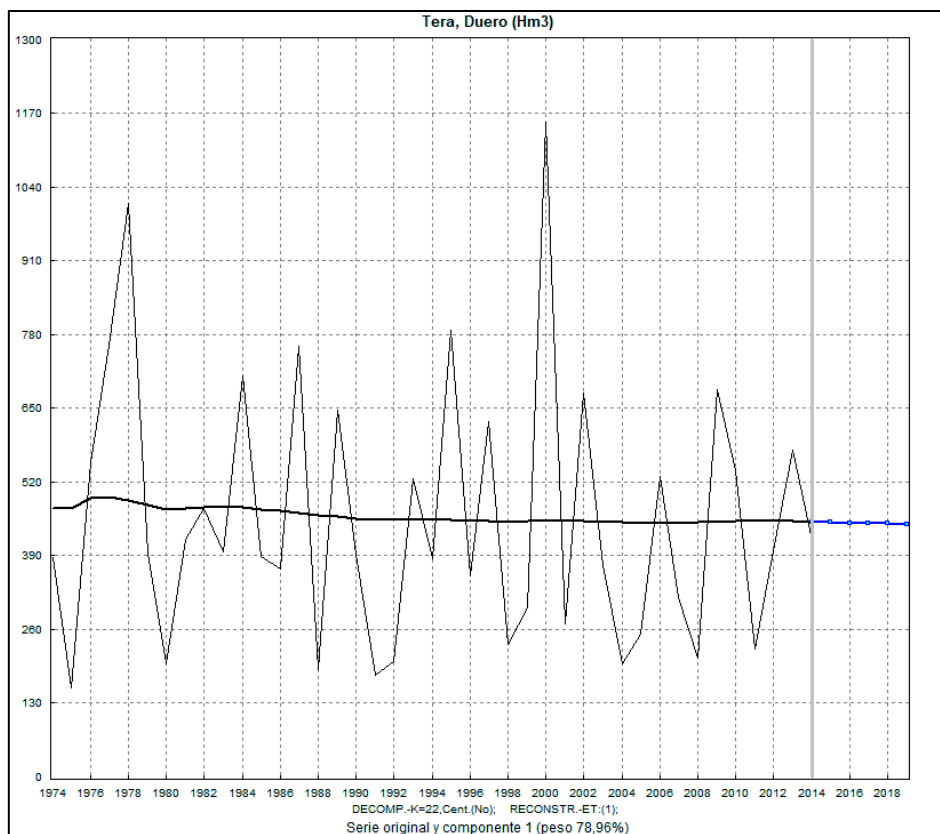


Gráfico 32. Aportación hídrica del río Tera y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

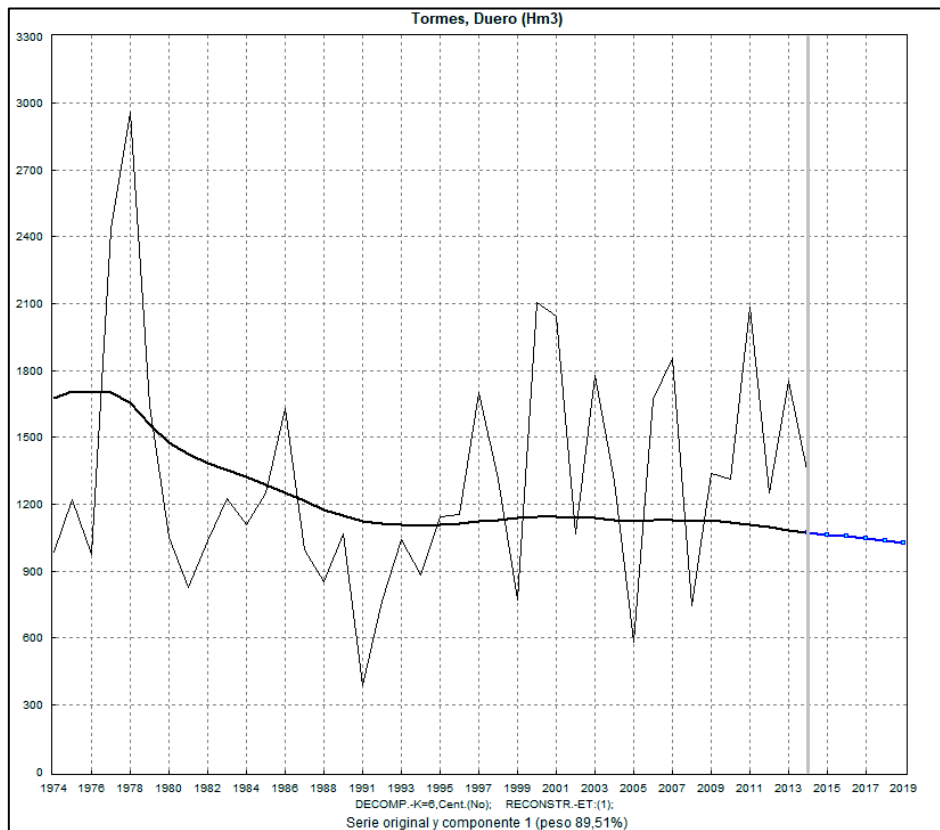


Gráfico 4. Aportación hídrica del río Tormes y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

Una de las cuencas más extensas y con mayor superficie dedicada al regadío es la del río Duero. Como hemos estudiado anteriormente, una cuenca de similares características como es la del Ebro ha presentado una tendencia marcadamente negativa que se ve reducida en este caso. Se siguen observando las mayores reducciones en los ríos de mayor caudal y con mayores superficies de cultivo en sus vegas (Duero, Esla y Tormes) pero ninguno supera el tercio de pérdidas en el periodo estudiado.

Destacan los afluentes de la zona norte que apenas han tenido variaciones siendo la mayor el incremento del Pisuerga, con un 10% de mayor caudal medido.



Ilustración 8. Variación del caudal en hm³ en el periodo estudiado respecto del río Duero.

4.4 Cantábrico

Río (Zona hidrográfica)	Inicio	Fin	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Asón, Cantábrico	1969	2013	45	-1,18366		-2,033	-7,486	3,041	-6,090	1,744
Bidasoa, Cantábrico	1969	2013	41	-1,85327	+	-6,093	-13,723	2,729	-11,605	0,300
Cares, Cantábrico	1969	2013	45	-2,90535	**	-4,680	-9,134	-0,497	-7,920	-1,330
Caudal, Cantábrico	1975	2013	35	0,00000		0,457	-8,989	9,846	-7,035	7,550
Eo, Cantábrico	1943	2013	71	-2,00531	*	-2,940	-6,362	0,688	-5,517	-0,029
Narcea, Cantábrico	1972	2013	40	-0,36118		-1,895	-16,786	12,472	-12,695	9,027
Navia, Cantábrico	1944	2014	69	-1,61083		-6,031	-16,448	4,265	-13,937	1,601
Oria, Cantábrico	1952	2010	56	3,35708	***	7,612	2,318	12,357	3,806	11,295
Sella, Cantábrico	1943	2013	70	3,57918	***	3,408	0,980	5,563	1,563	4,998

Tabla 11. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Cantábrico.

Teniendo en cuenta la marcada estabilidad en el tiempo de las cuencas del Duero y del Miño-Sil cabría suponer que la zona del cantábrico tendría un comportamiento similar al ser una de las zonas más húmedas y con una menor presión agraria. Sin embargo, encontramos evoluciones muy diferentes para los ríos estudiados, destacando los crecimientos considerables del Sella y el Oria (Gráficos 42 y 41) con un grado de confiabilidad excelente. En el lado contrario con un descenso en la confianza estarían las disminuciones del Cares, el Eo y el Bidasoa (Gráficos 36, 38 y 35) con una pérdida cercana al 30 % de su caudal desde que están los registros.

Pese a manifestar una clara tendencia decreciente a partir de los años 60 según el SSA, el río Navia (Gráfico 40) no obtiene un nivel de significación suficiente para reafirmar esta postura según el test de Mann-Kendall.

Por último, caracterizándose por tendencias muy estables en el tiempo estarían representados los ríos Asón, Caudal y el Narcea (Gráficos 34, 37 y 39). En el caso del

río Caudal, se trata del único río estudiado que tiene una estabilidad perfecta según Mann-Kendall, observándose un pequeño incremento seguido de una fase plana gracias al SSA.

El comportamiento general de esta cuenca es muy heterodoxo en comparación al resultado esperado inicialmente y no se puede establecer de manera clara un comportamiento general en este estudio. La orografía del terreno y la cercanía de los nacimientos de los ríos al océano evita que se puedan formar masas de agua dominantes siendo la cuenca con los caudales más similares.

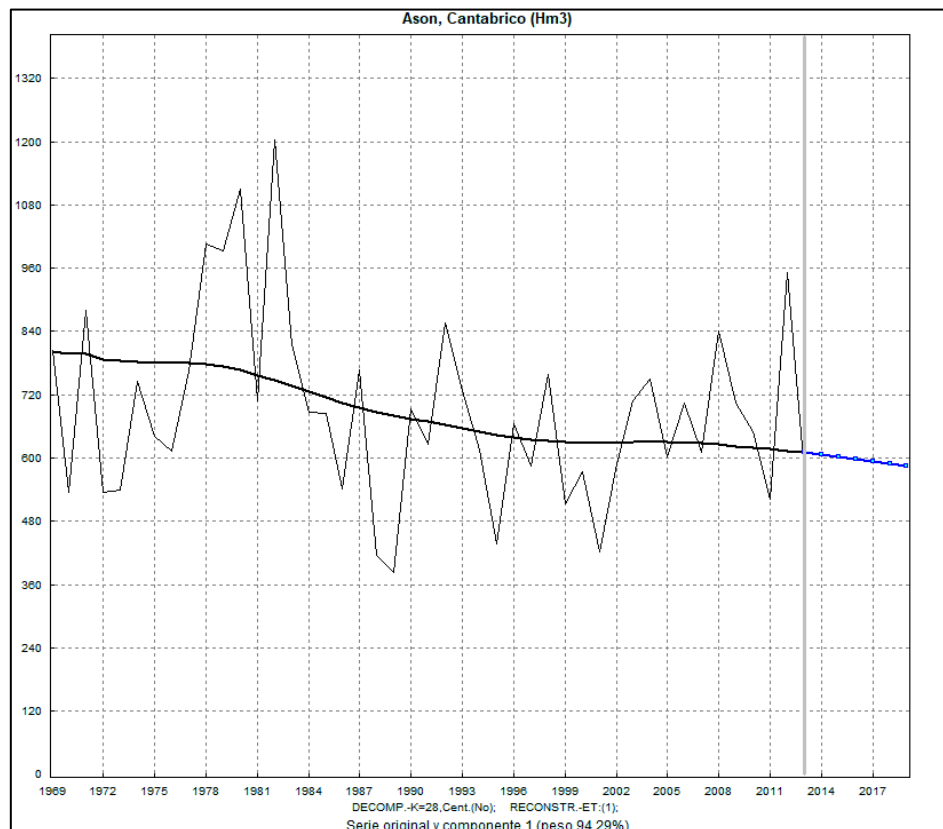


Gráfico 34. Aportación hídrica del río Asón y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

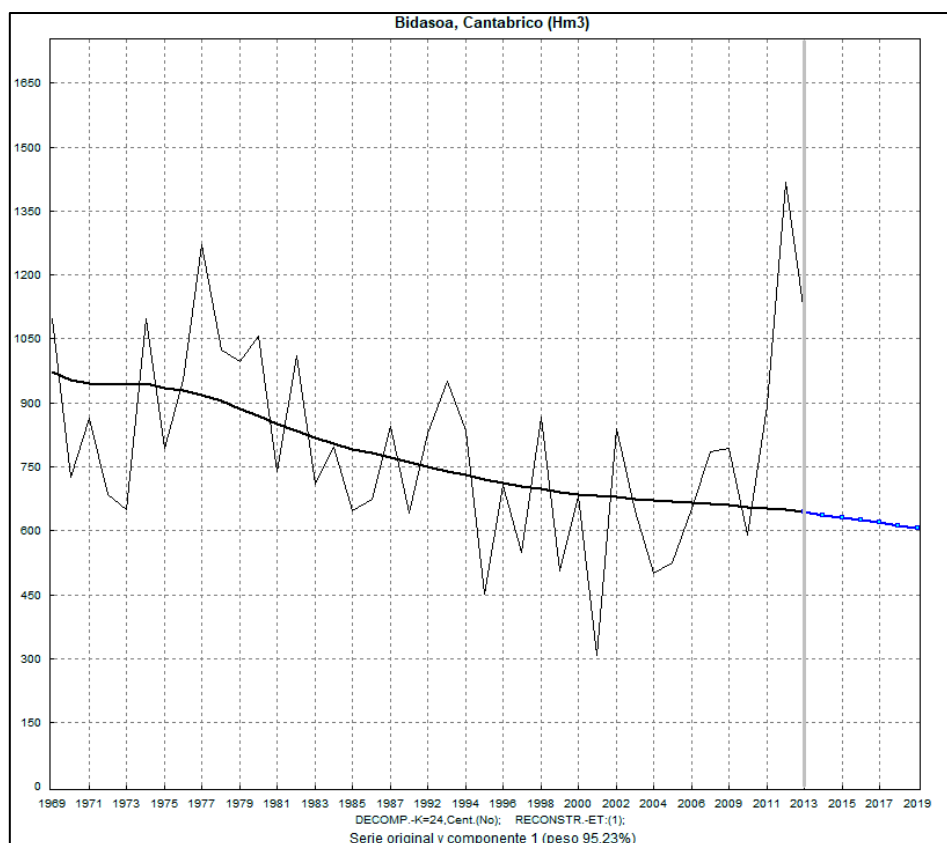


Gráfico 35. Aportación hídrica del río Bidasoa y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

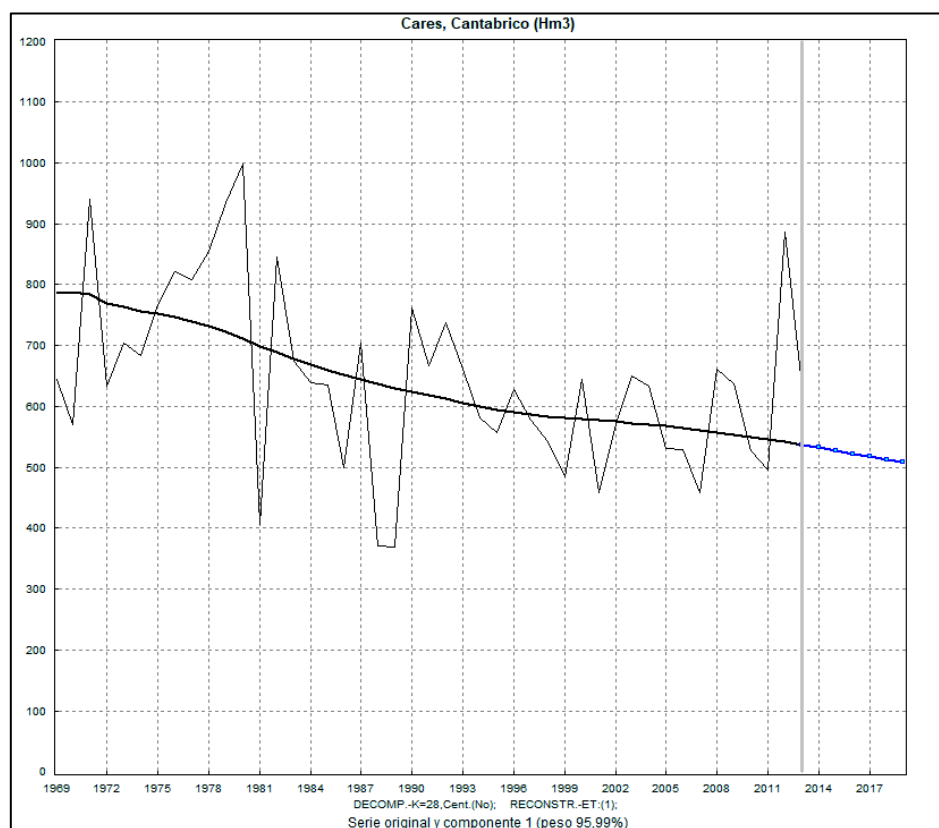


Gráfico 36. Aportación hídrica del río Cares y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

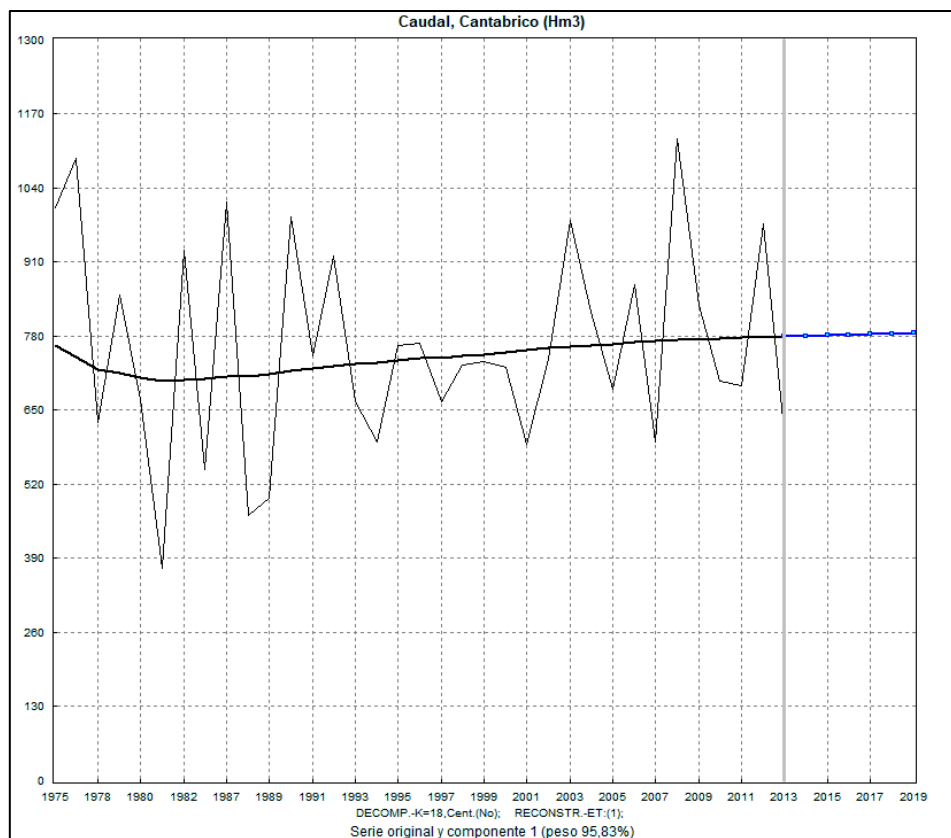


Gráfico 37. Aportación hídrica del río Caudal y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

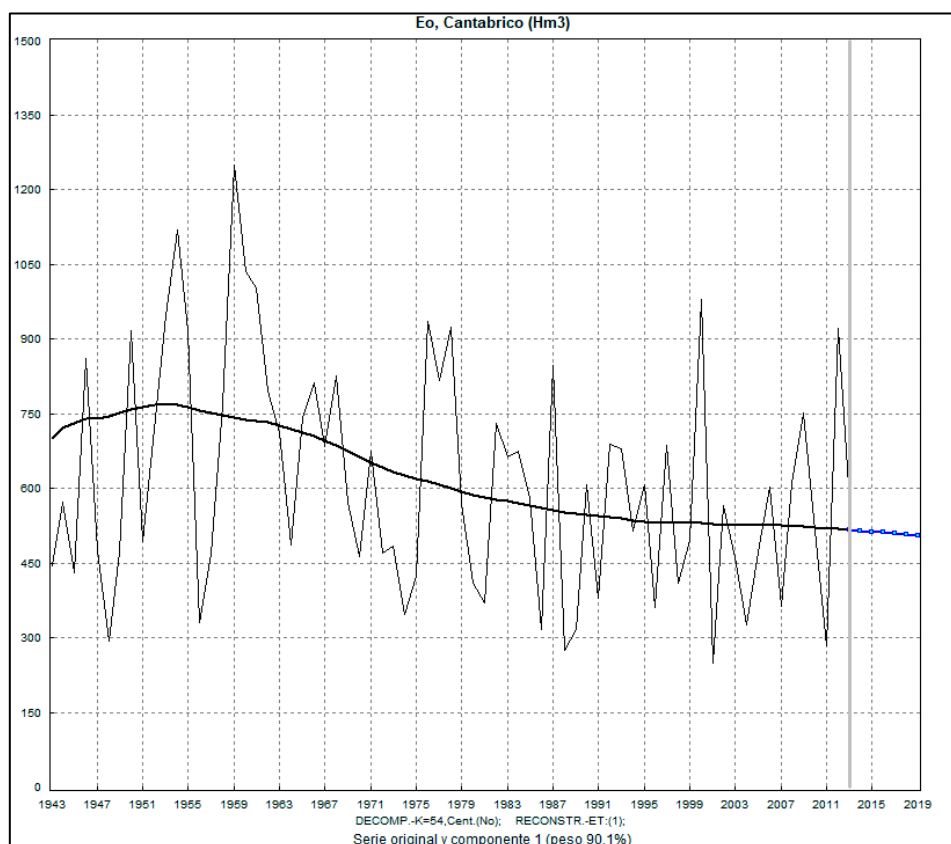


Gráfico 38. Aportación hídrica del río Eo y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

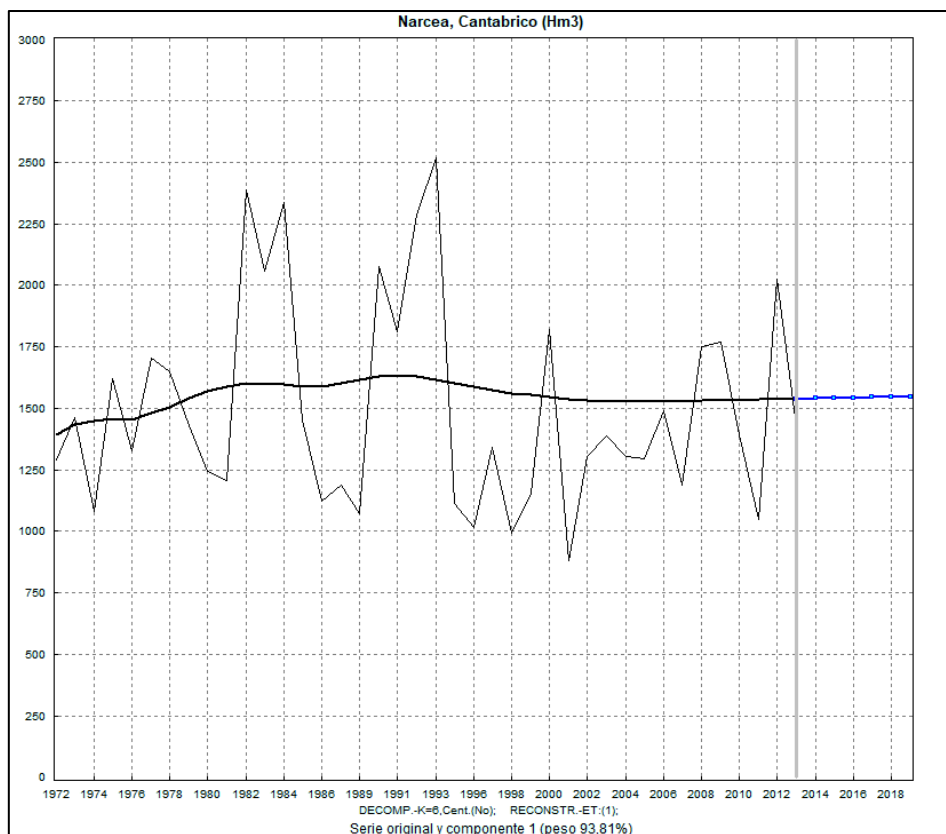


Gráfico 39. Aportación hídrica del río Narcea y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

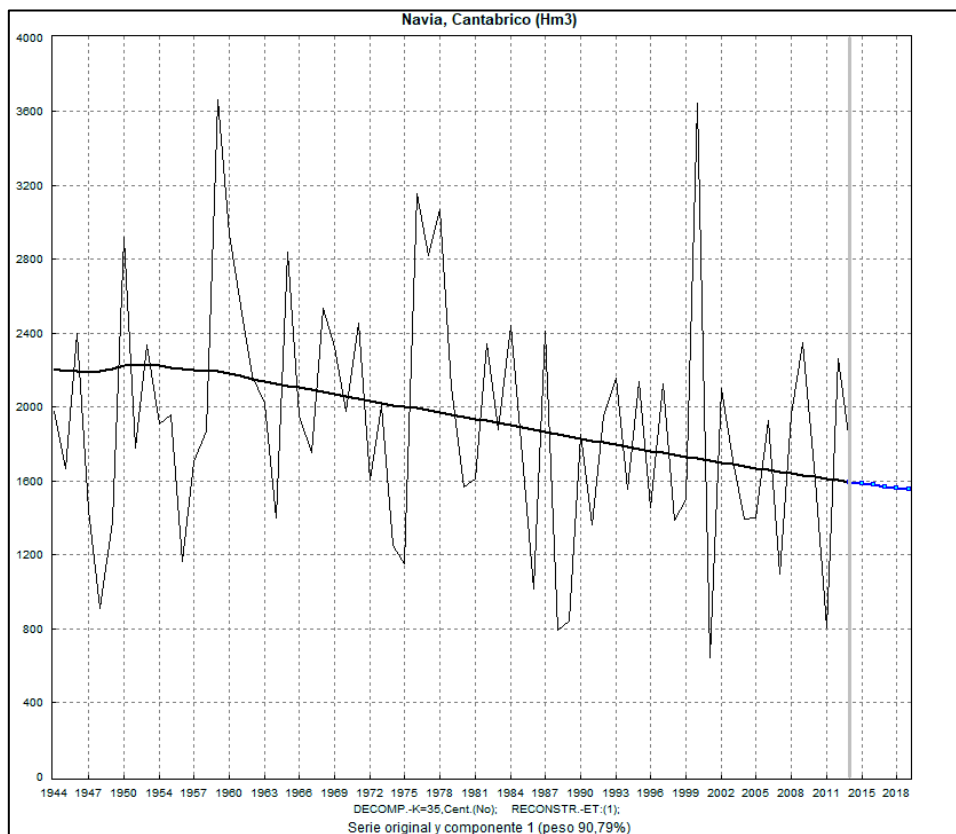


Gráfico 40. Aportación hídrica del río Navia y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

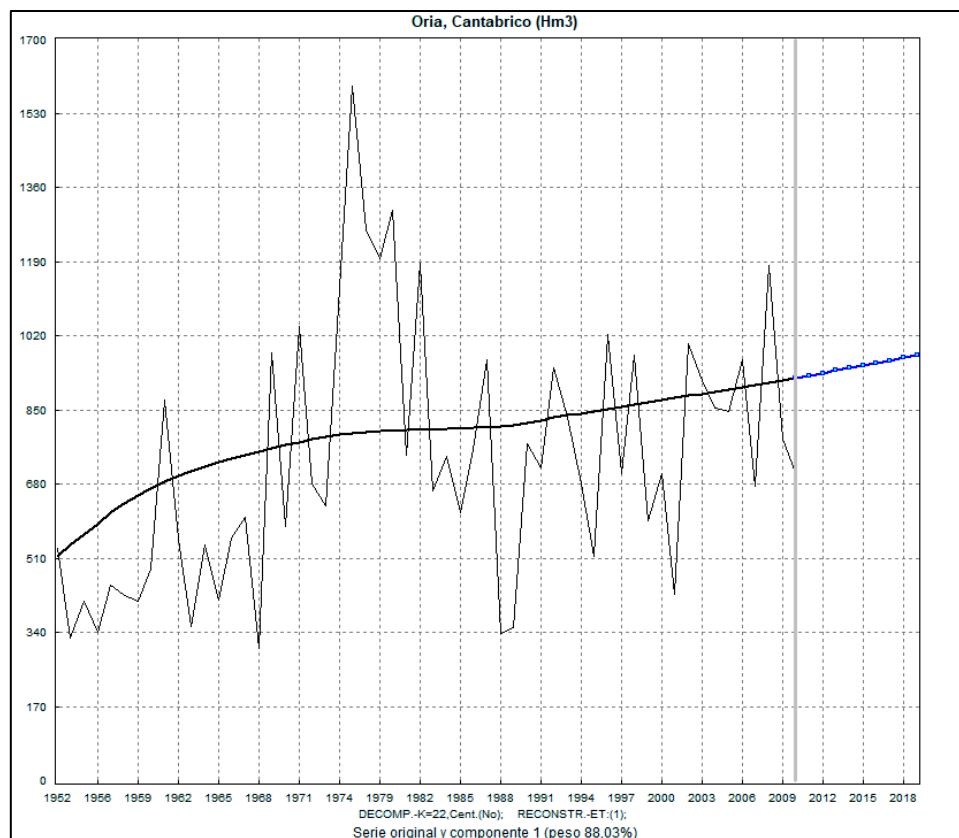


Gráfico 41. Aportación hídrica del río Oria y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

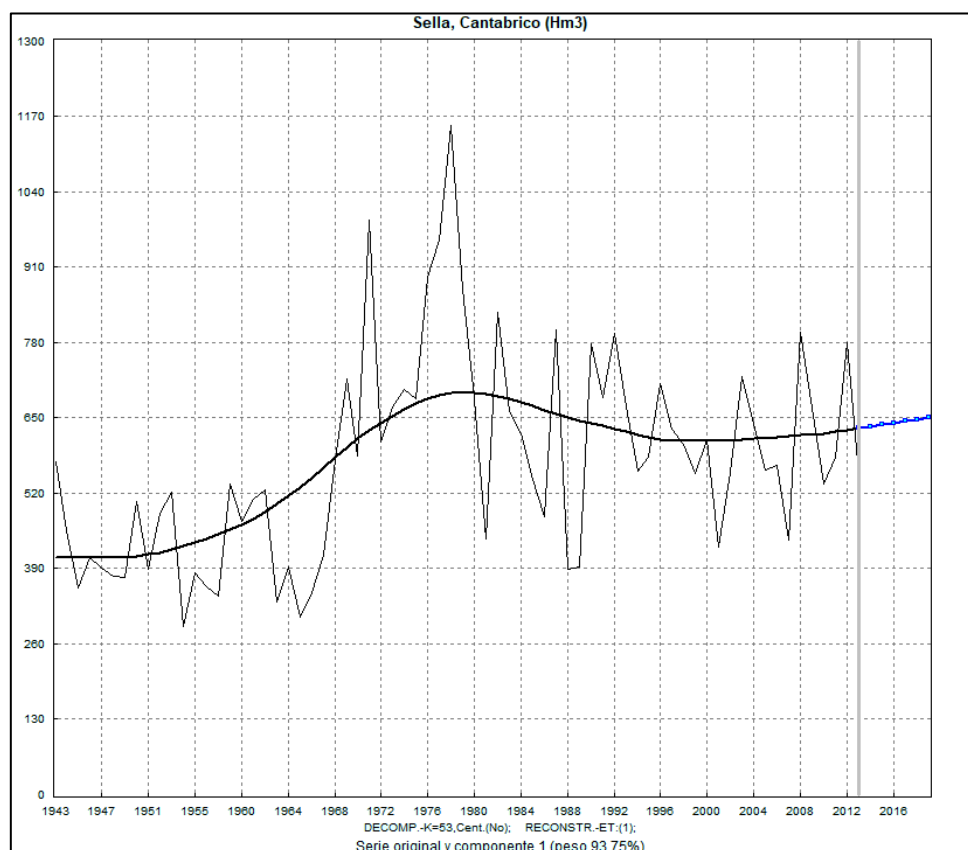


Gráfico 42. Aportación hídrica del río Sella y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

La cuenca del Cantábrico destaca por unos ríos de escaso recorrido pero con caudales importantes debido a las precipitaciones de los frentes del Atlántico. Así mismo, no posee una economía basada en la agricultura por lo que la demanda es reducida en este sentido.

La variabilidad de los caudales en el periodo estudiado es mucho más pequeña que en el resto de cuencas, dándose las mayores variaciones porcentuales en los incrementos del Sella y el Oria, con un 54 y un 79% respectivamente. En el lado contrario, observamos la disminución de un 30% en el Navia y el Bidasoa siendo este último el más perjudicado.

El resto de ríos apenas han variado sus aportaciones hídricas.

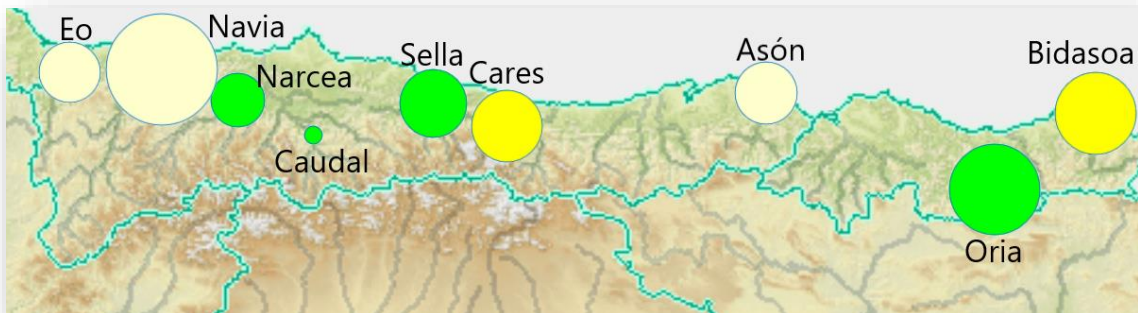


Ilustración 9. Variación del caudal en hm^3 en el periodo estudiado respecto al río Navia.

4.5 Tajo

Río (Zona hidrográfica)	Inicio	Fin	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Alagón, Tajo	1979	2014	36	0,53121		3,538	-18,930	21,270	-13,749	16,455
Jerte, Tajo	1965	2014	49	-0,81888		-1,545	-6,868	3,811	-5,667	2,603
Manzanares, Tajo	1965	2014	44	-3,46919	***	-3,305	-6,239	-0,959	-5,563	-1,546
Tajo, Tajo	1948	2014	66	-2,98842	**	-72,470	-148,235	-11,574	-129,748	-26,330
Tiétar, Tajo	1968	2014	47	-0,82534		-8,719	-42,524	21,605	-33,200	12,598
Guadiela, Tajo	1953	2014	62	-4,36119	***	-7,412	-11,481	-2,906	-10,510	-3,914
Henares, Tajo	1940	2014	70	-0,15209		-0,297	-3,336	2,438	-2,666	1,892
Alberche, Tajo	1958	2014	56	-2,98957	**	-8,672	-18,066	-1,496	-16,029	-3,402
Tajuña, Tajo	1928	2014	84	-5,82940	***	-2,006	-2,984	-1,188	-2,713	-1,404

Tabla 12. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Tajo.

La cuenca hidrográfica del Tajo divide la península ibérica en dos mitades, recorriéndola de este a oeste hasta su desembocadura en el océano Atlántico. La tendencia general de los caudales de los distintos ríos es negativa, con unas pérdidas muy marcadas para la mayor parte de los ríos hacia el año 1960 evolucionando hacia una estabilización final. Estaríamos hablando de unas pérdidas de caudal superiores al 30%, acentuándose en su principal río, el Tajo (Gráfico 49), que pasaría en solo 30 años a ver su aportación hídrica reducida a la mitad.

En este tipo de cuencas el comportamiento del río principal señala la tónica general del resto ya que muchos de ellos serán afluentes suyos. Como podemos observar gracias al Test de Mann-Kendall hay 4 ríos que tendrían una tendencia negativa con un alto grado de confianza. El Tajuña y el Guadiela (Gráfico 50 y 45) son afluentes de la cabecera del Tajo que han visto seriamente menguada su aportación con el paso del tiempo y que presentan una tendencia muy similar a la del río que nutren. El grado de

significación es excelente también para el río Manzanares, disminuyendo a muy bueno para el Alberche. Es peculiar esta diferencia mostrada ya que según el gráfico generado por el software del SSA, la tendencia negativa es mucho más acentuada en el Alberche (Gráfico 44) que en el Manzanares (Gráfico 48).

El resto de las unidades estudiadas no poseerían una marcada evolución, oscilando sobre un caudal base. Según el SSA, el Henares y el Jerte (Gráficos 46 y 47) tendrían un comportamiento muy plano en su conjunto diferenciándose del segundo río más caudaloso de la cuenca, el Tiétar (Gráfico 51), que se vislumbra una ligera tendencia a disminuir su caudal.

Por último, los resultados del río Alagón (Gráfico 43) serían inciertos ya que el Test de Mann-Kendall sugeriría una pequeña variación positiva de carácter mínimo en contraposición al análisis de espectro singular que parece entender que la tendencia sería hacia una disminución efectiva de sus aportes hídricos. El escaso tamaño de la muestra analizada impide establecer un dictamen objetivo de este curso de agua. Debido a la escasez e irregularidad de datos se ha decidido no contemplar el estudio del río Jarama, uno de los principales afluentes del Tajo en su vertiente norte.

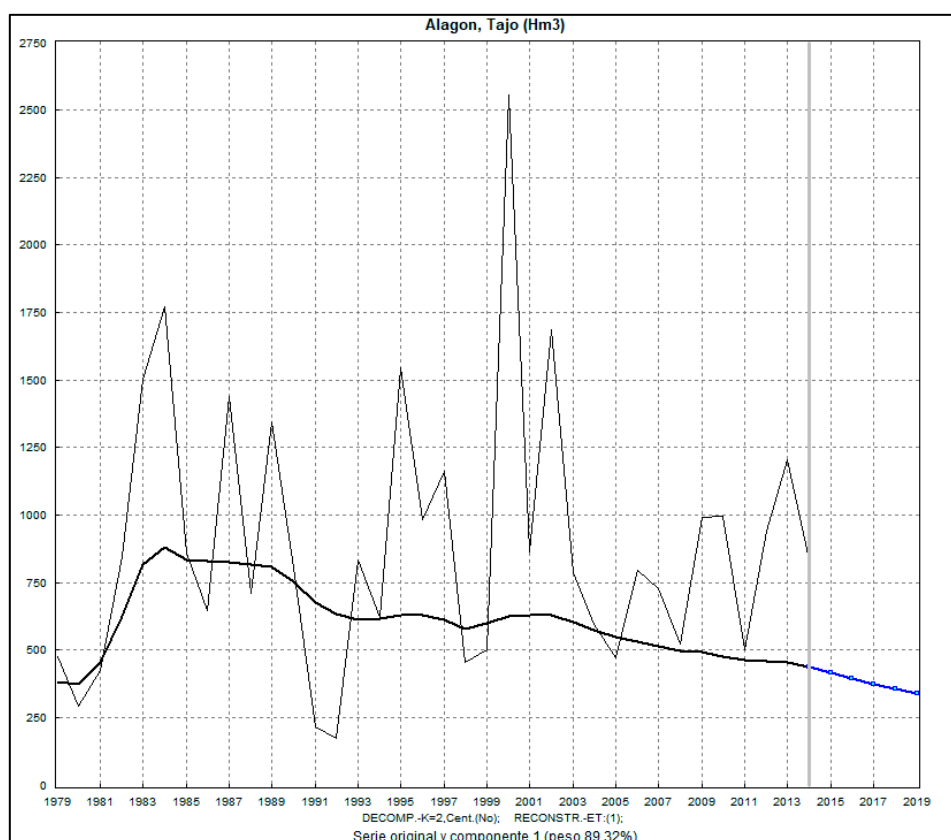


Gráfico 43. Aportación hídrica del río Alagón y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

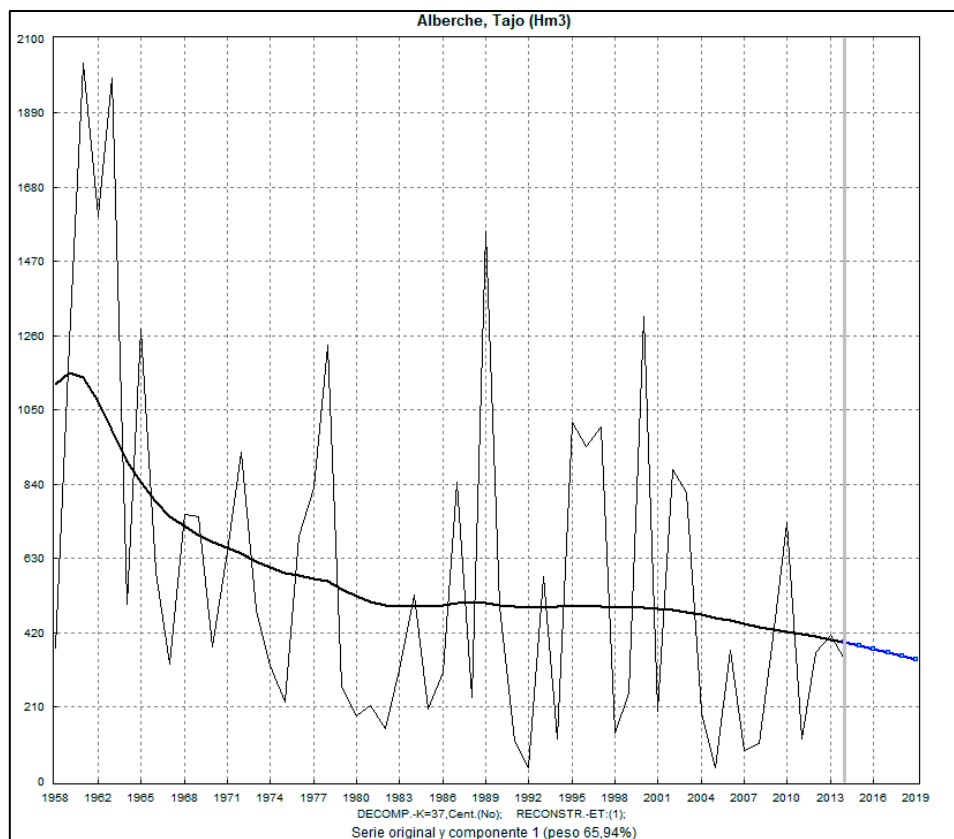


Gráfico 44. Aportación hídrica del río Alberche y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

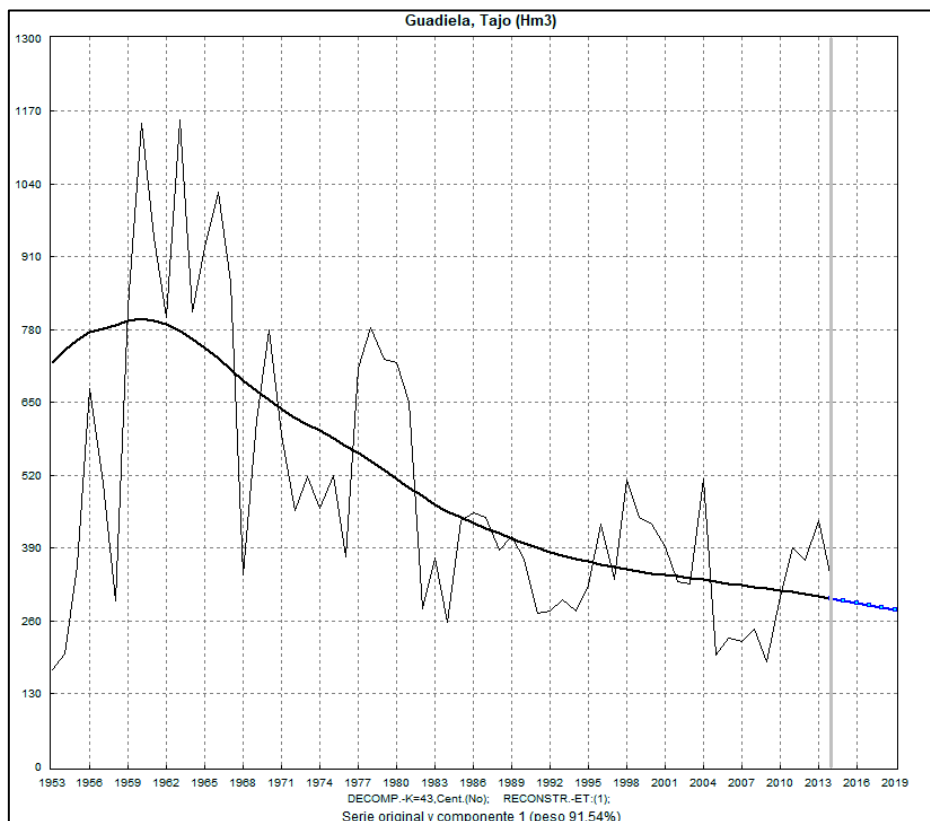


Gráfico 45. Aportación hídrica del río Guadaleja y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

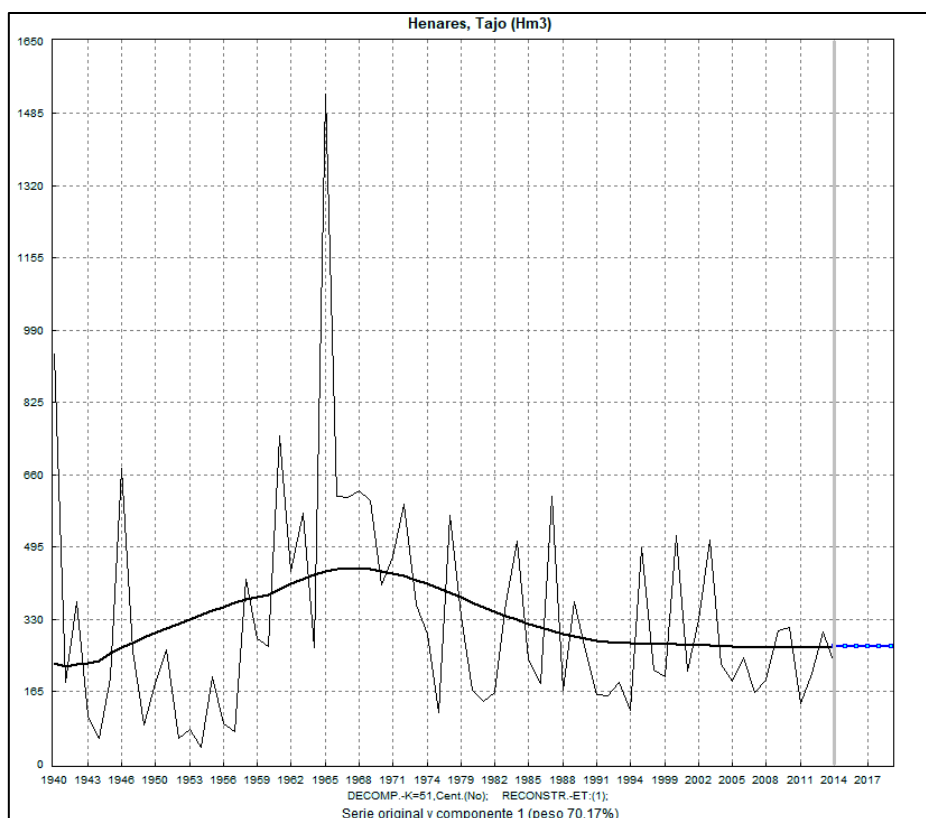


Gráfico 46. Aportación hídrica del río Henares y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

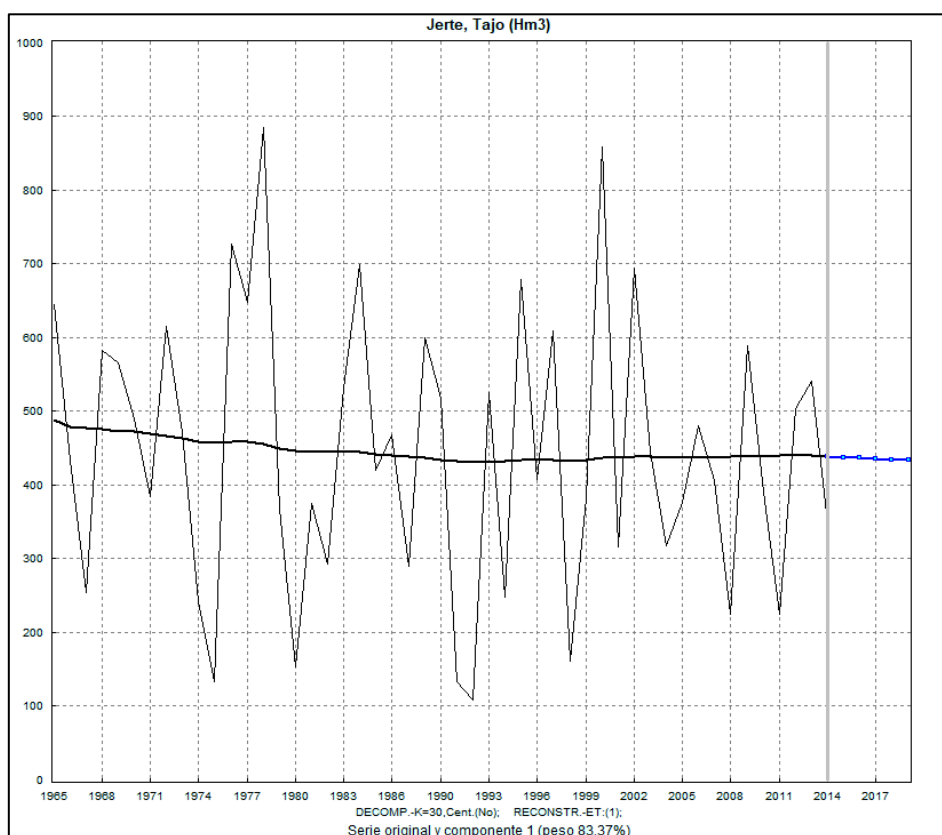


Gráfico 47. Aportación hídrica del río Jerte y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

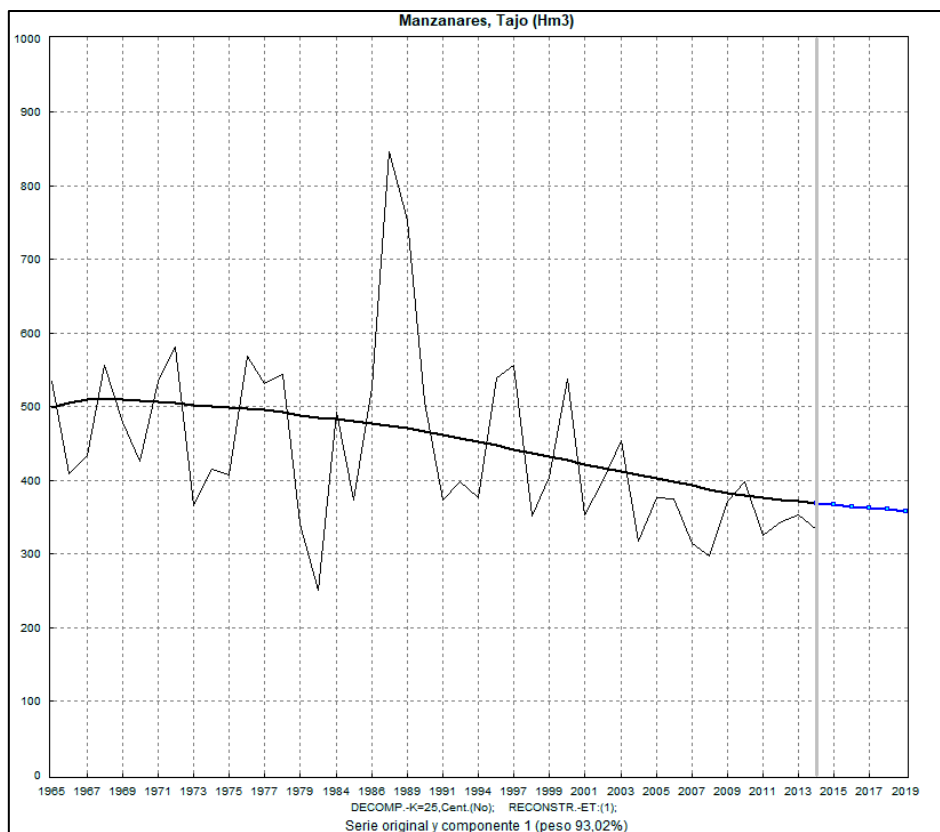


Gráfico 48. Aportación hídrica del río Manzanares y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

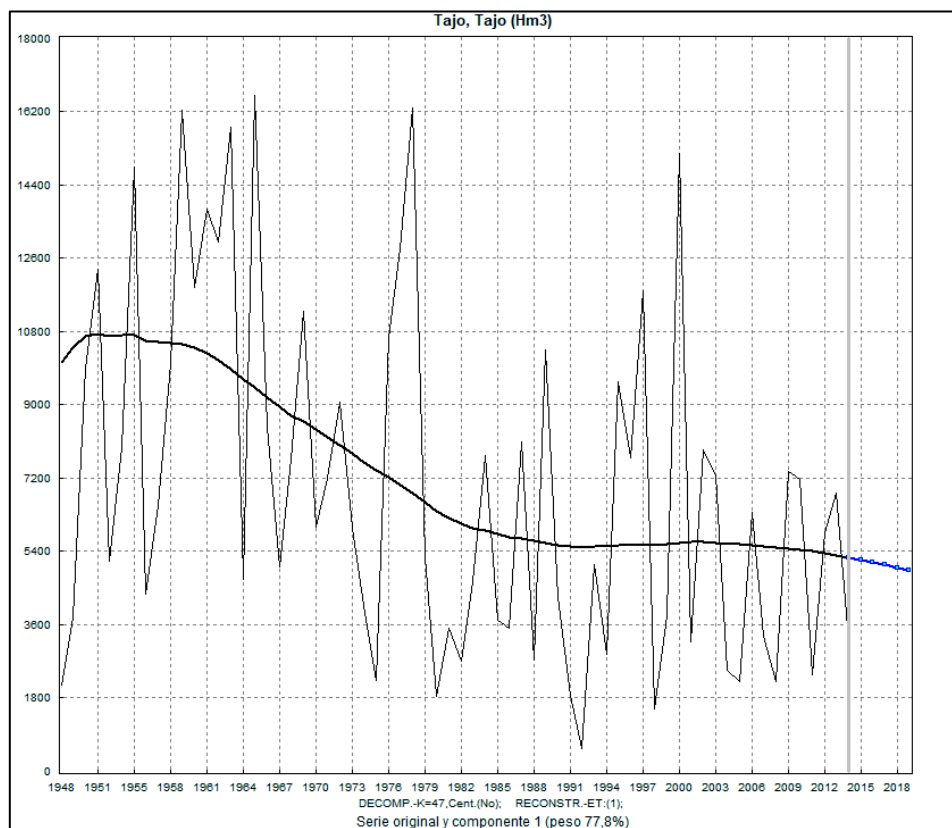


Gráfico 49. Aportación hídrica del río Tajo y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

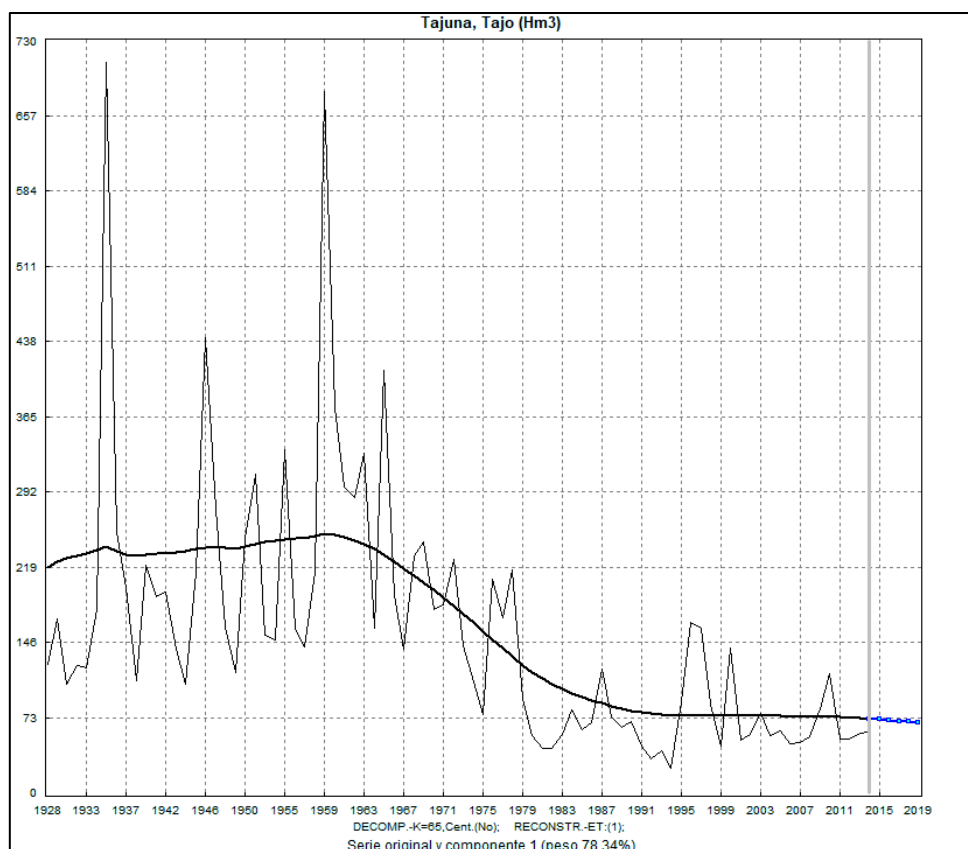


Gráfico 50. Aportación hídrica del río Tajuña y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

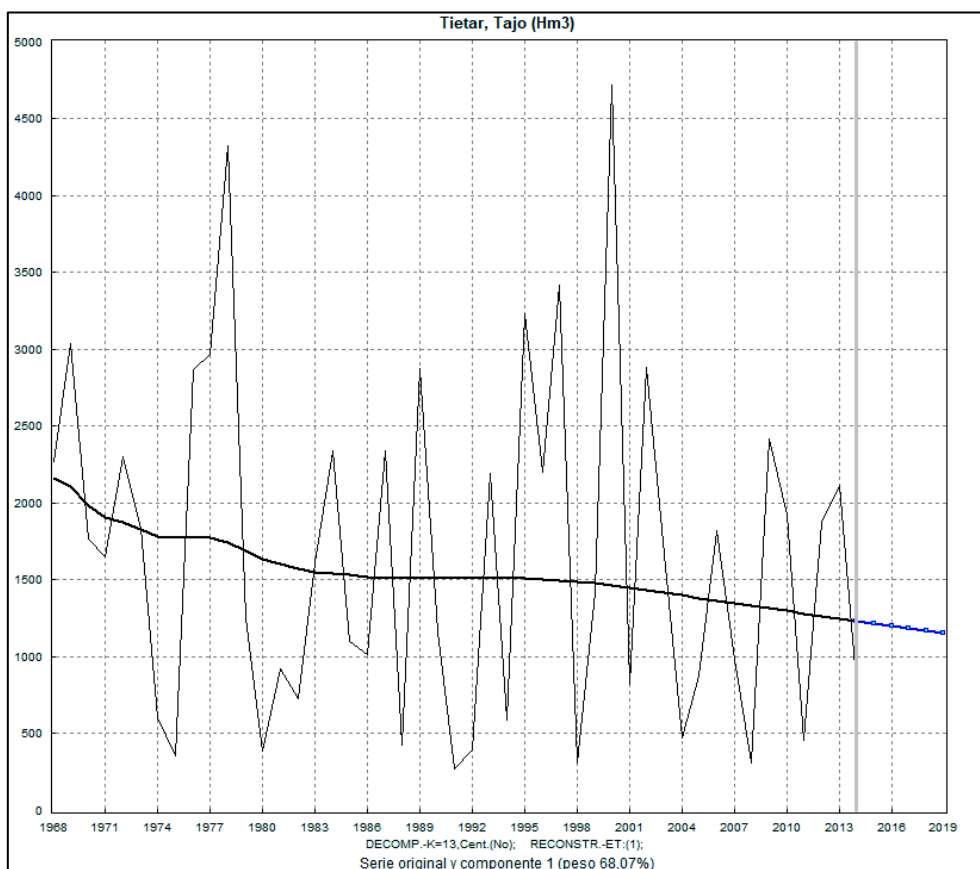


Gráfico 51. Aportación hídrica del río Tiétar y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

Se puede observar que la cuenca del Tajo tiene un comportamiento muy negativo con reducciones drásticas de sus aportes. El río Tajo, que vertebra toda la cuenca, ha dejado de aportar más de 4.500 hm³ desde que existen mediciones lo que se traduce en una merma de casi el 50%.

El resto de afluentes han tenido un comportamiento similar destacando las reducciones del Alberche y el Tajuña superando el 60% de pérdida de volumen. El Tiétar debido a la agricultura y el Guadiela por el trasvase del Tajo-Segura han visto reducidas sus aportaciones en torno a la mitad.

Solo unos pocos ríos apenas han sufrido variaciones, con el Henares y el Alagón como únicos comportamientos positivos.



Ilustración 10. Variación del caudal en hm³ en el periodo estudiado respecto del río Tajo.

4.6 Guadiana

Río (Zona hidrográfica)	Inicio	Fin	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Guadiana, Guadiana	1927	2014	81	-2,05960	*	-16,606	-40,331	2,779	-33,870	-0,959
Zújar, Guadiana	1941	2014	71	1,08207		1,946	-3,316	5,931	-1,889	4,976
Becea, Guadiana	1944	2014	69	-1,58500		-0,094	-0,364	0,050	-0,301	0,018

Tabla 13. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Guadiana.

No se trata de una de las cuencas hidrográficas más pequeñas pero la falta de datos puntuales ha disminuido drásticamente la lista de ríos a los que poder someter a estudio. Entre ellos se encuentran los dos principales ríos, el Guadiana y su afluente más importante, el Zújar. Con un buen nivel de significación y confianza en el test de Mann-Kendall y estimación Sen, estaría el Guadiana (Gráfico 53) con una depreciación de sus caudales a partir del inicio de la década de los 70.

En cambio, su principal afluente (Gráfico 54) según muestra la SSA tendría una tendencia positiva en su conjunto, con un máximo en su caudal en el periodo de 1960 a 1980. Pese a no tener un nivel de confianza suficiente para afirmar una variación de sus aportes, el resultado superior a 1 en el test de Mann-Kendall señala una posible evidencia.

El tercer río del que se han podido recopilar datos es el Becea (Gráfico 52), un arroyo de escasa entidad, pero del que se dispone de información desde 1944. Su comportamiento es similar al de otros ríos del centro de la península, con un máximo en los 60 y una ligera disminución de su caudal hasta alcanzar una tendencia neutra hasta el presente. No tiene un grado de significación suficiente pero la estimación Sen muestra una posible disminución de sus aportes.

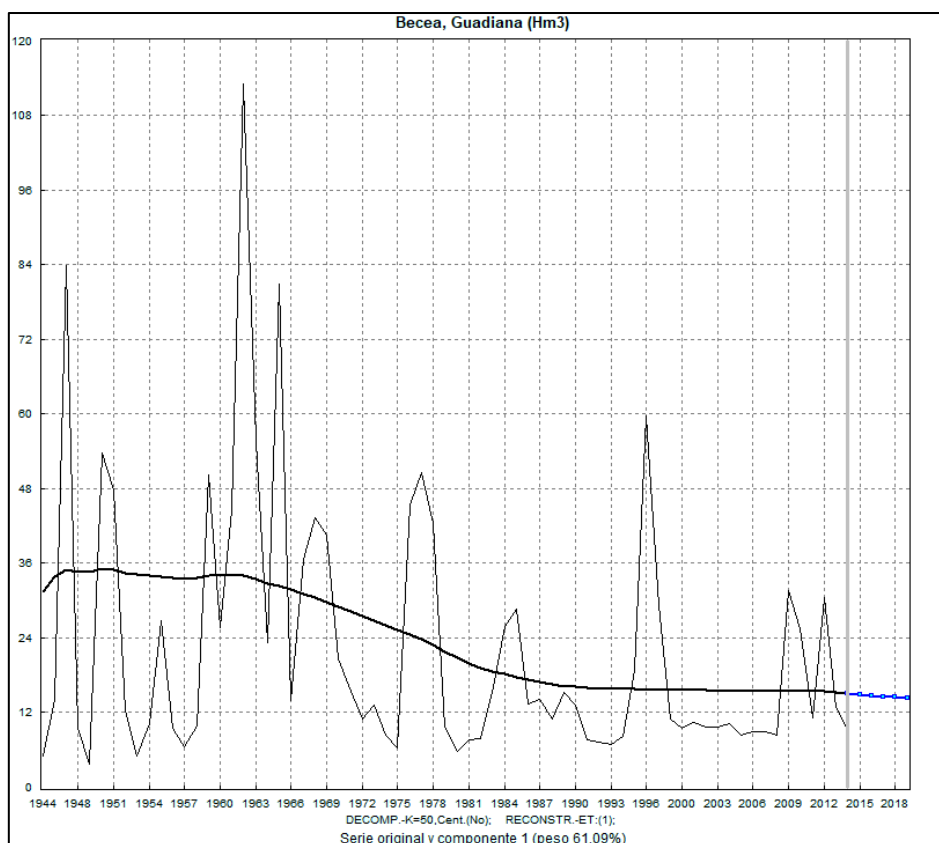


Gráfico 52. Aportación hídrica del río Becea y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

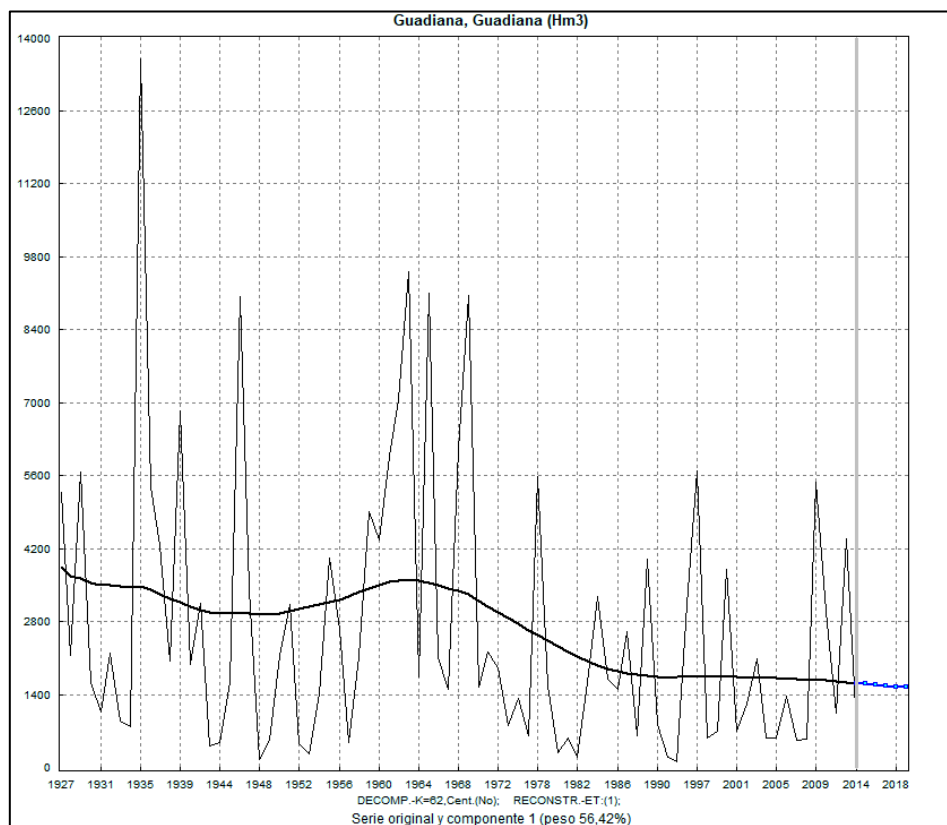


Gráfico 53. Aportación hídrica del río Guadiana y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

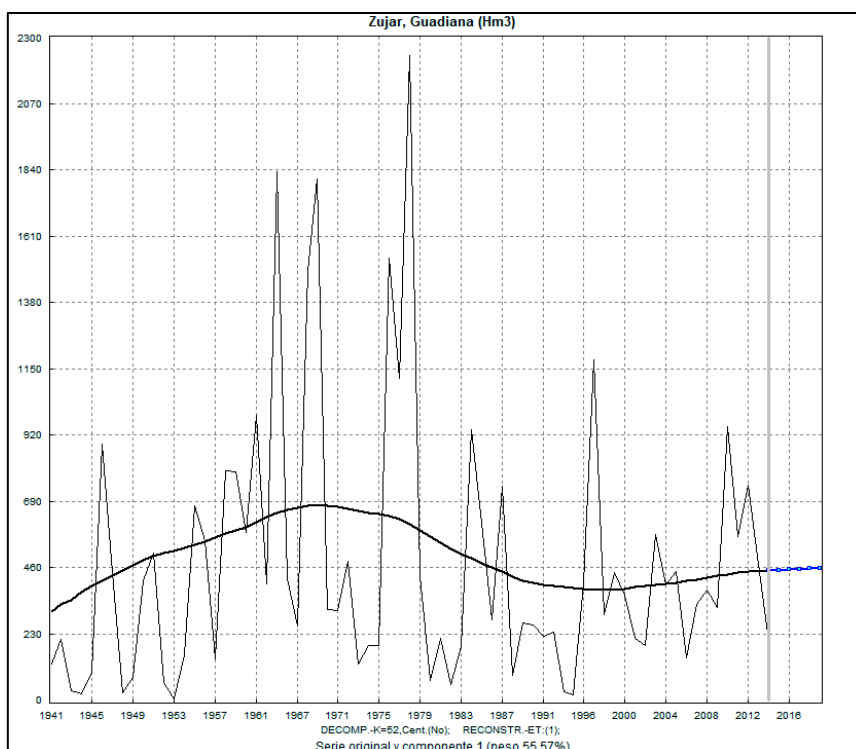


Gráfico 53. Aportación hídrica del río Zújar y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

Con los datos que hemos extraído es difícil estimar una tendencia de la cuenca en general, pero al tener unas variables muy parecidas a la cuenca del Tajo podemos constatar una disminución de los aportes medios ya que el río principal actúa como ejemplo. En este caso el Guadiana ha llegado a perder más de la mitad de su caudal.

En el caso contrario destaca el Zújar que ha podido incrementar sus aportaciones en casi un 46%. El Becea por su parte ha visto reducido su caudal.

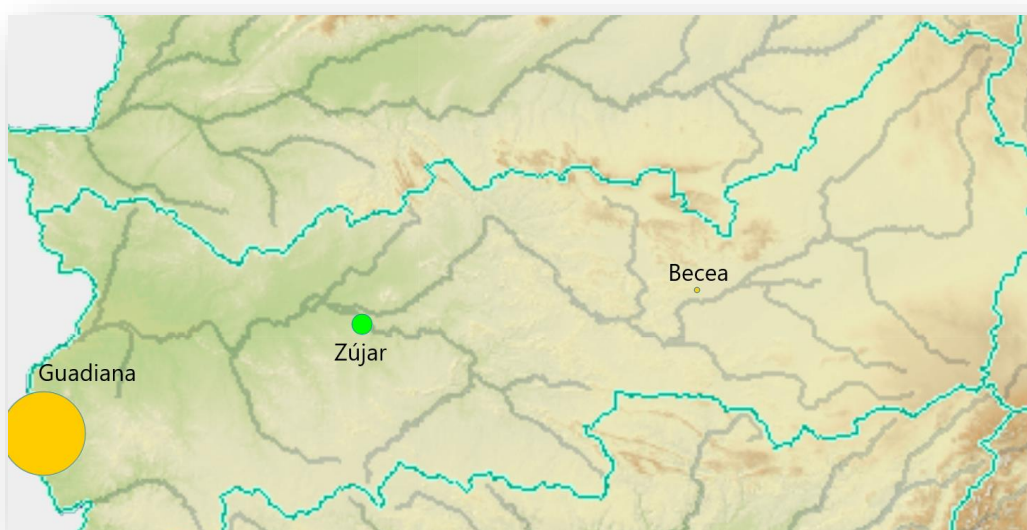


Ilustración 11. Variación del caudal en hm^3 en el periodo estudiado respecto del río Guadiana.

4.7 Guadalquivir

Río (Zona hidrográfica)	Inicio	Fin	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Guadalquivir, Guadalquivir	1951	2009	60	-2,67235	**	-37,602	-93,341	-2,454	-77,170	-11,156
Guadalimar, Guadalquivir	1950	2014	57	-1,64524	+	-2,433	-7,240	1,332	-6,153	0,562
Guadiato, Guadalquivir	1944	2014	71	0,00993		0,010	-1,571	1,735	-1,181	1,323
Guadalmellato, Guadalquivir	1944	2014	71	-1,18134		-0,531	-1,894	0,738	-1,492	0,335
Viar, Guadalquivir	1948	2014	67	-0,38963		-0,223	-1,562	1,248	-1,249	0,894
Guadalén, Guadalquivir	1954	2014	61	-1,40641		-0,644	-2,220	0,532	-1,799	0,248
Rivera de Cala, Guadalquivir	1944	2014	71	-1,08207		-0,346	-1,234	0,506	-0,984	0,250
Rumblar, Guadalquivir	1944	2014	71	-1,84647	+	-0,342	-0,886	0,144	-0,764	0,035

Tabla 14. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Guadalquivir.

Perteneciendo a una de las cinco cuencas hidrográficas con mayor superficie de la península tenemos a la cuenca del Guadalquivir. Se trata de una cuenca muy parecida a la del Tajo, donde el río principal marca el eje y la mayor parte de los ríos son sus afluentes. Sin embargo, según el Test de Mann-Kendall los afluentes no han tenido un comportamiento similar a su río principal ya que se puede afirmar una tendencia negativa para este, pero no para la mayor parte de las demás figuras hídricas.

En este caso (Gráfico 58), observamos una disminución muy marcada del caudal desde las primeras mediciones hasta la década de los 80 donde se vislumbra un mínimo histórico. A partir de ese momento existe una ligera mejora manteniéndose relativamente estable hasta la actualidad. El test de Man-Kendall presenta un muy buen nivel de significación para la pérdida ya observada en la figura.

Los otros dos afluentes que han obtenido un grado de significación suficiente para expresar una pérdida neta de sus aportaciones hídricas son el Guadalimar y el Rumblar (Gráficos 56 y 61).

El resto de afluentes estudiados de la cuenca no han tenido un nivel de confianza suficiente para afirmar una variación en sus caudales. Teniendo en cuenta la proyección extraída mediante SSA si podemos observar un comportamiento muy parecido en todos ellos, mostrándose una disminución gradual de sus aportes hasta finales de la década de los 80 donde habrá un punto de inflexión, aumentando otra vez las aportaciones hídricas hasta asemejarlas a las conseguidas a principios del estudio (Gráficos 55, 57, 59, 60 y 62).

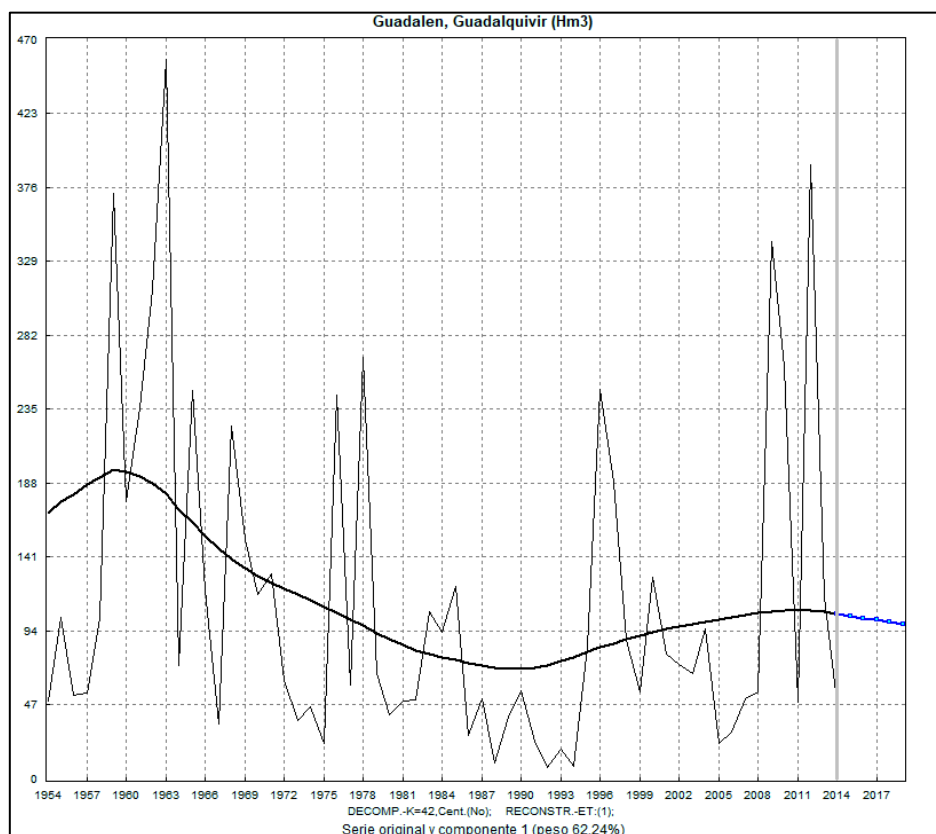


Gráfico 55. Aportación hídrica del río Guadalén y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

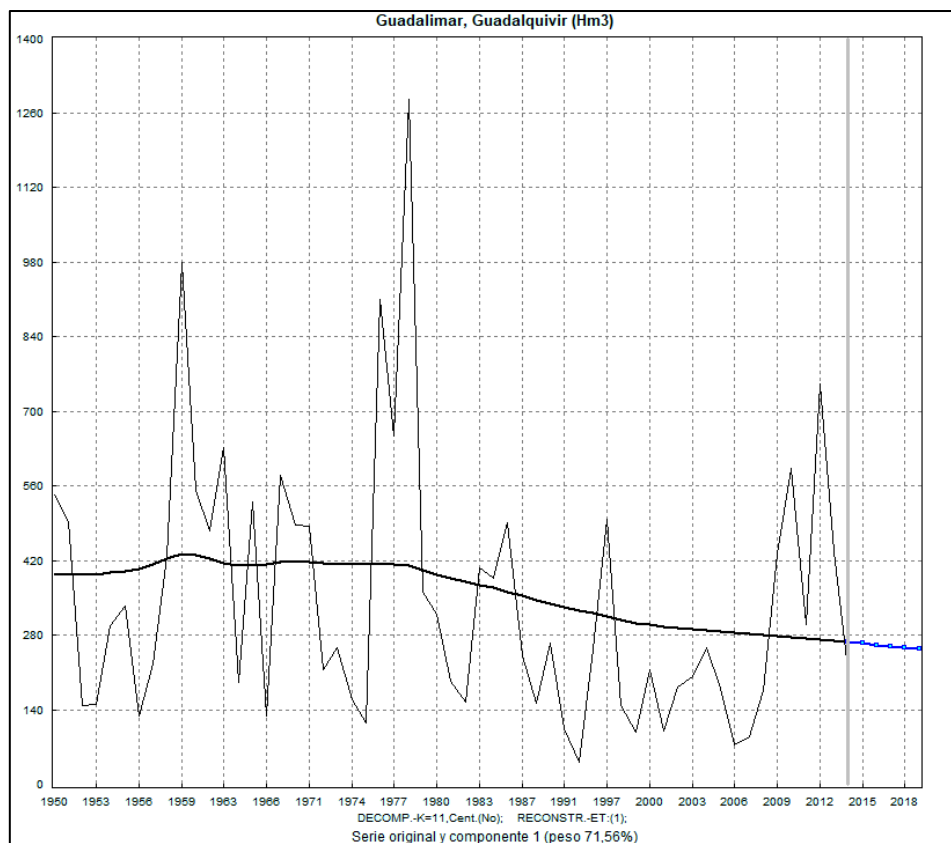


Gráfico 56. Aportación hídrica del río Guadalimar y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

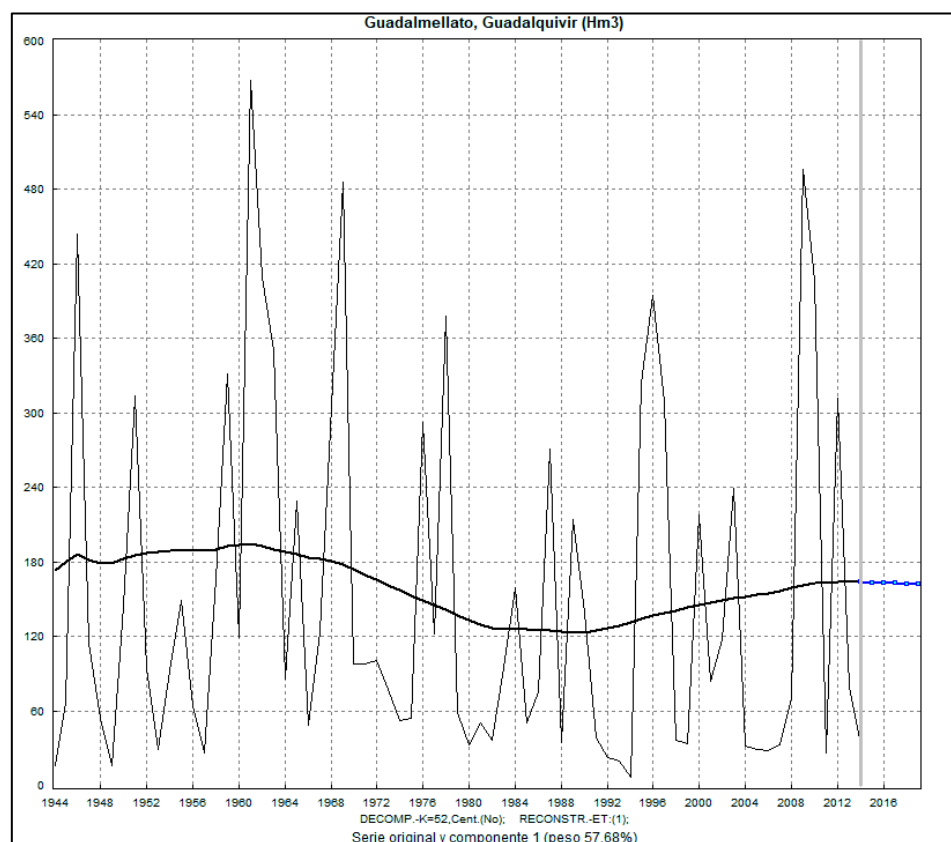


Gráfico 57. Aportación hídrica del río Guadalmellato y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

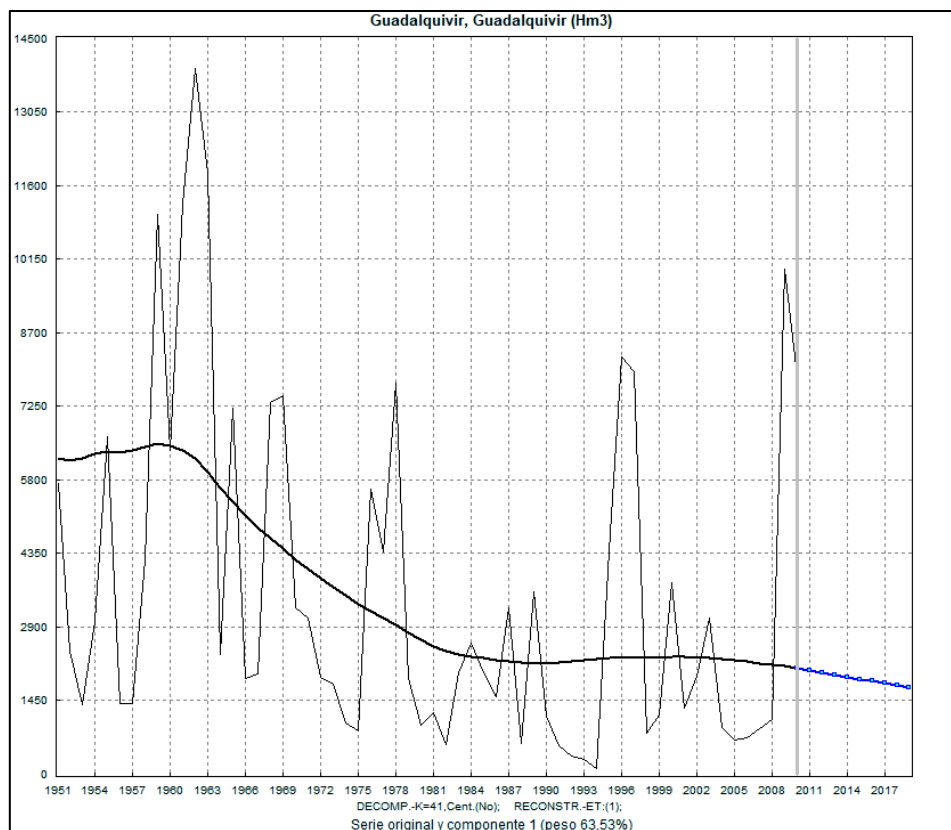


Gráfico 58. Aportación hídrica del río Guadalquivir y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

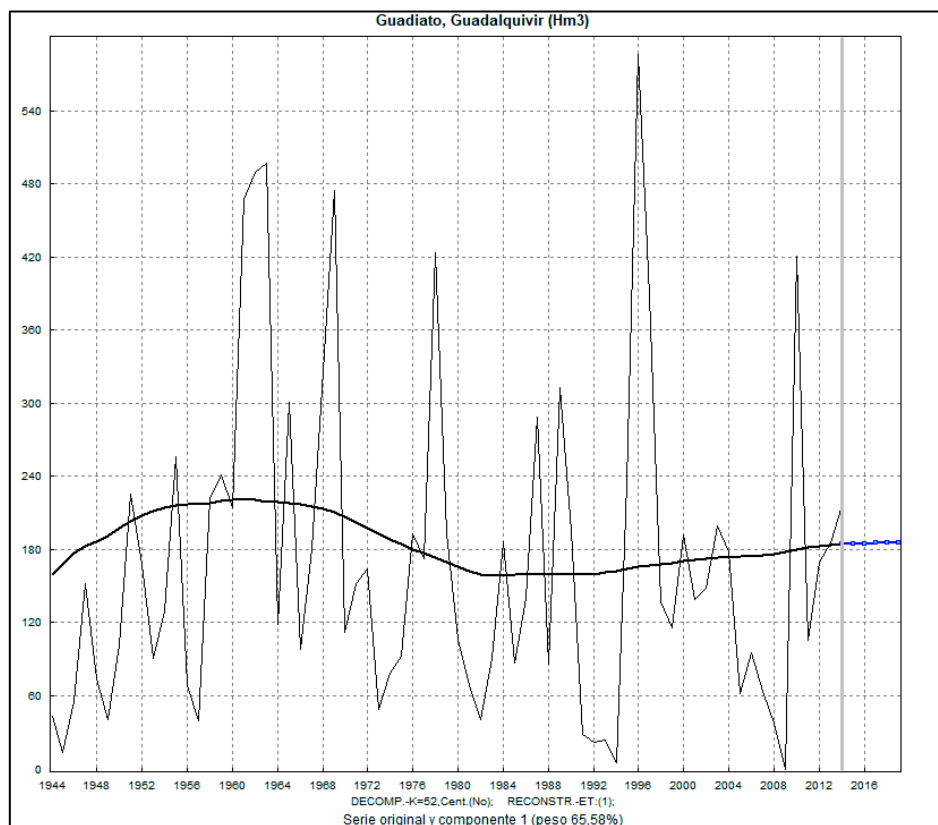


Gráfico 59. Aportación hídrica del río Guadiato y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

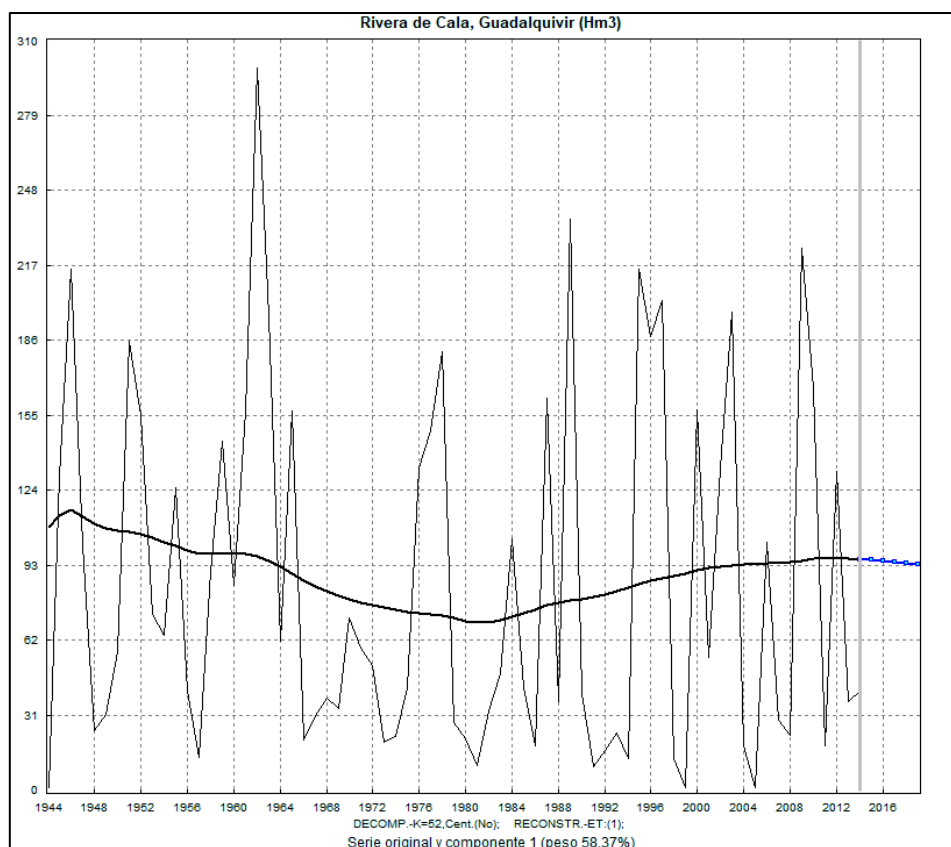


Gráfico 60. Aportación hídrica del río Rivera de Cala y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

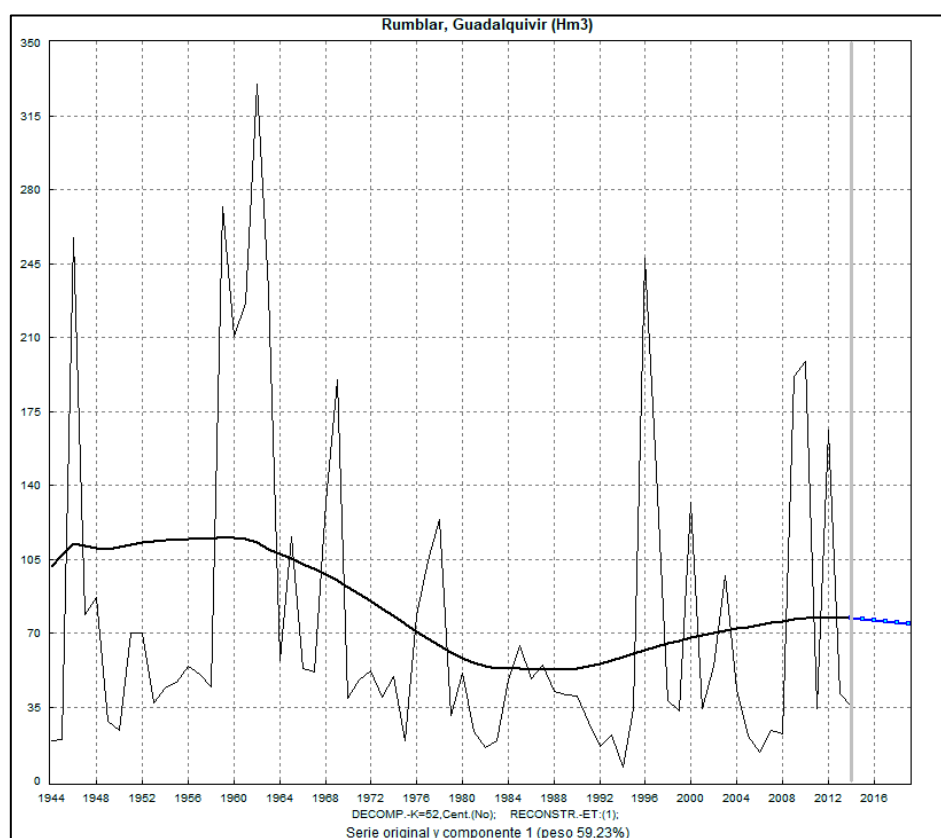


Gráfico 61. Aportación hídrica del río Rumblar y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

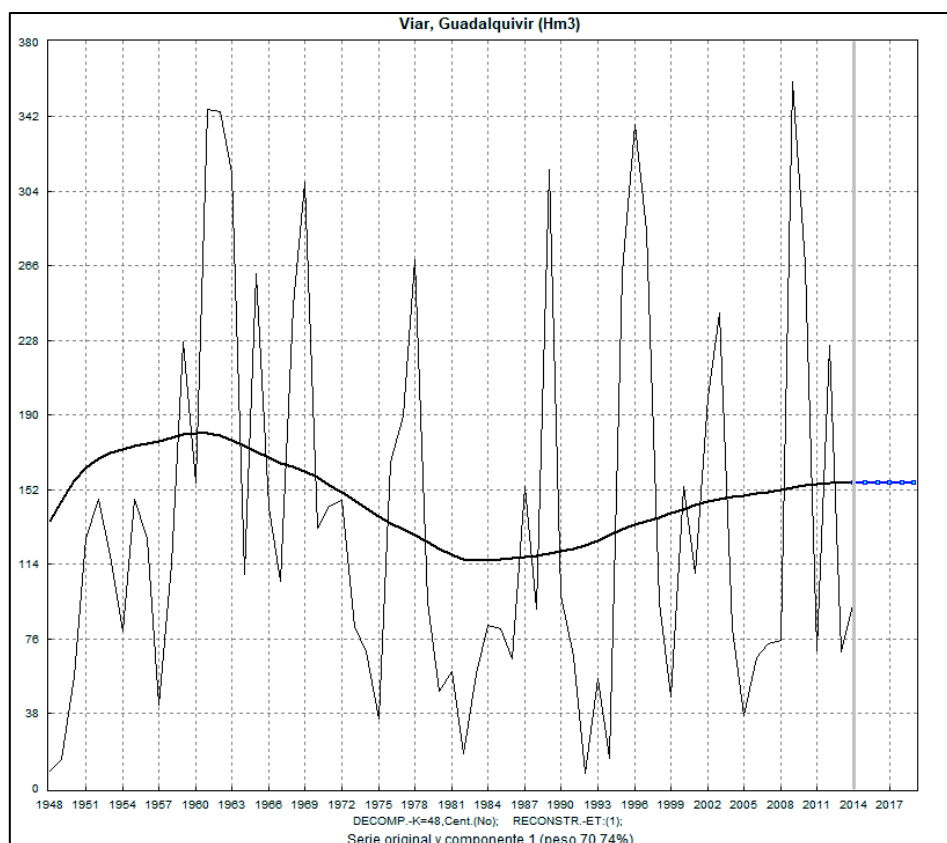


Gráfico 62. Aportación hídrica del río Viar y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

La cuenca del Guadalquivir tiene los patrones similares a la del Guadiana y el Tajo por lo que el comportamiento es muy parecido. El río principal de la cuenca, el Guadalquivir, presenta una disminución de su caudal en este estudio de más de 4.000 hm³, lo que supone un 66% de su caudal.

Con una variación ligeramente inferior a la del Guadalquivir encontramos dos de sus afluentes que nacen en la sierra de Cazorla, el Guadalén y el Guadalimar con la pérdida de un tercio de sus aportaciones.

El resto de afluentes estudiados tienen su origen en Sierra Morena y no muestran apenas variaciones en sus caudales lo que hace pensar que, al tener la margen derecha del Guadalquivir menos explotaciones agrícolas, la demanda de agua no ha podido variar en gran medida.

El río Rumblar, el Guadalquivir y el Rivera de Cala apenas han visto modificar sus aportaciones siendo la del Rumblar la más importante con un decremento de 24 hm³. El río Guadiato y el Viar han obtenido un ligero aumento del 15% en su serie histórica.



Ilustración 12. Variación del caudal en hm^3 en el periodo estudiado respecto del río Guadalquivir.

4.8 Júcar

Río (Zona hidrográfica)	Comienza	Acaba	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Turia, Júcar	1923	2014	82	-5,49411	***	-4,086	-6,067	-2,466	-5,517	-2,902
Cabriel, Júcar	1915	2014	90	-5,90402	***	-5,051	-7,773	-2,938	-7,041	-3,420
Júcar, Júcar	1915	2014	88	-8,37952	***	-16,723	-20,548	-13,455	-19,541	-14,250
Mijares, Júcar	1953	2014	60	-5,17250	***	-3,010	-4,502	-1,678	-4,093	-2,072
Ojos de Moya, Júcar	1964	2014	49	-4,01699	***	-0,636	-1,044	-0,222	-0,941	-0,321
Palancia, Júcar	1946	2014	66	-2,24685	*	-0,280	-0,644	0,035	-0,531	-0,032
Guadalaviar, Júcar	1950	2013	64	-4,81450	***	-1,299	-2,008	-0,625	-1,883	-0,791

Tabla 15. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Júcar.

La cuenca del Júcar es una de las cuencas con mayor cantidad de aforos y puntos de medición debido a su marcado carácter agrario desde la antigüedad, lo que ha permitido tener acceso a una información muy detallada con datos de principios de siglo XX. Todo ello posibilita establecer un estudio robusto de las variaciones hídricas acaecidas en el último siglo.

A partir del estudio realizado con el Test de Mann-Kendall se afirma una disminución constante y significativa de los caudales llegando a perder más de la mitad de sus caudales en el periodo observado. Esta pérdida gradual parece disminuir levemente a partir del año 2000, si bien en algunos casos no impide que se siga depreciando sus aportaciones.

El río más importante, el Júcar (Gráfico 65), llega a perder un 75% de su caudal de manera constante a lo largo de los años, pasando de caudales superiores a los 2000 hm³ al año a niveles inferiores a los 500. El segundo río por importancia, el Cabriel (Gráfico 63), tendría un mejor comportamiento que parece estabilizarse hacia principios de la década de los 80 según el SSA.

De similar forma se comportarían el resto de ríos estudiados, observándose una disminución generalizada de sus aportaciones hasta mediados de la década de los 80. El Guadalaviar, el Mijares y el Ojos de Moya (Gráficos 64, 66 y 67) presentan una disminución constante que les haría perder más de la mitad de sus caudales medidos en sus primeros años. El Palancia, pese a tener según la SSA un comportamiento similar a los ríos comentados anteriormente, no ha obtenido un grado de confianza excelente como los demás ríos de la cuenca. No obstante, ambos estudios indican una tendencia negativa generalizada.

El Turia (Gráfico 69) presenta un comportamiento relativamente distinto al resto ya que pese a sufrir una disminución de sus aportes esta solo comenzó a hacerse patente a principios de la década de los 80 estabilizándose inmediatamente y perdiendo en un periodo menor a 10 años más de la mitad de su caudal.

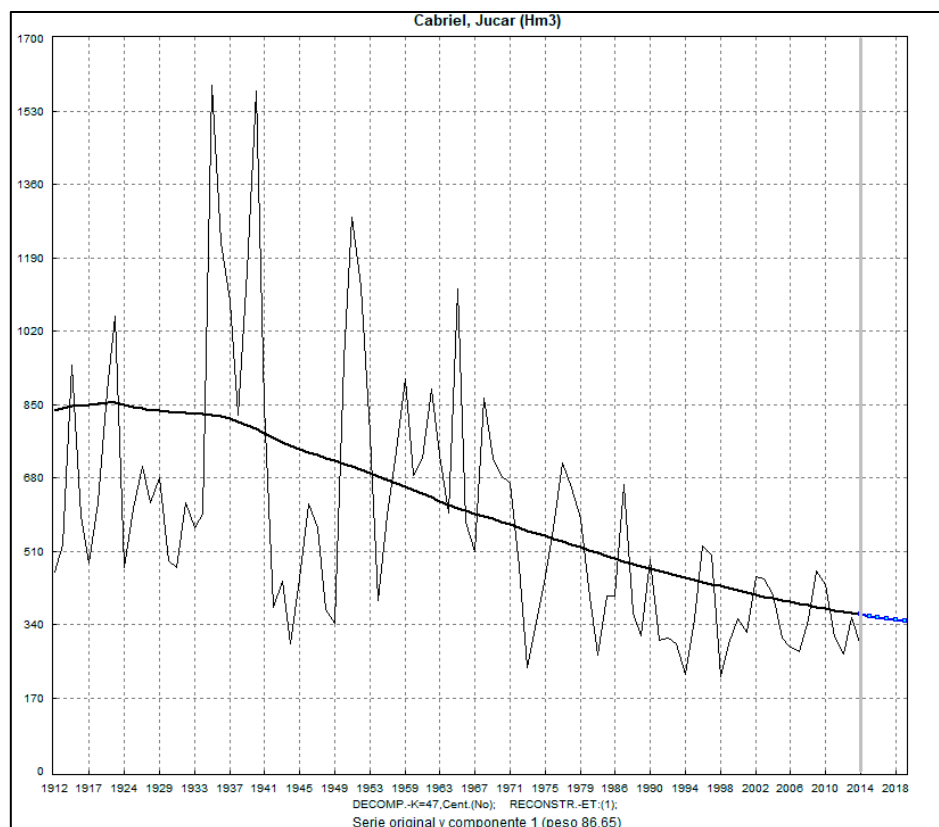


Gráfico 63. Aportación hídrica del río Cabriel y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

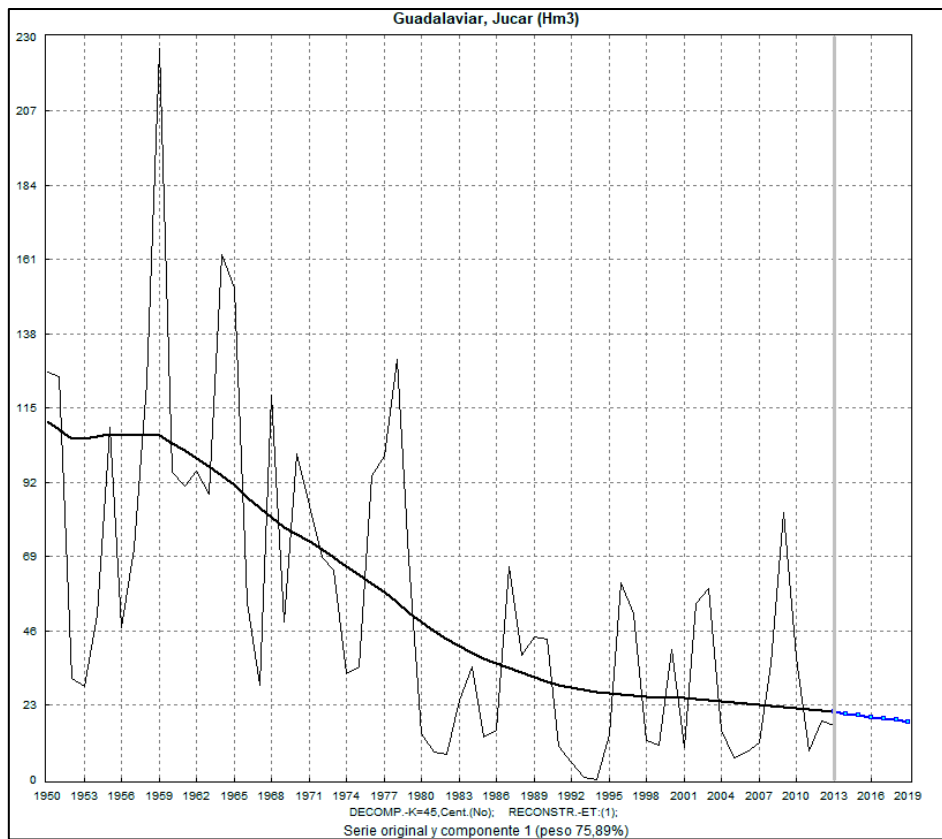


Gráfico 64. Aportación hídrica del río Guadalquivir y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

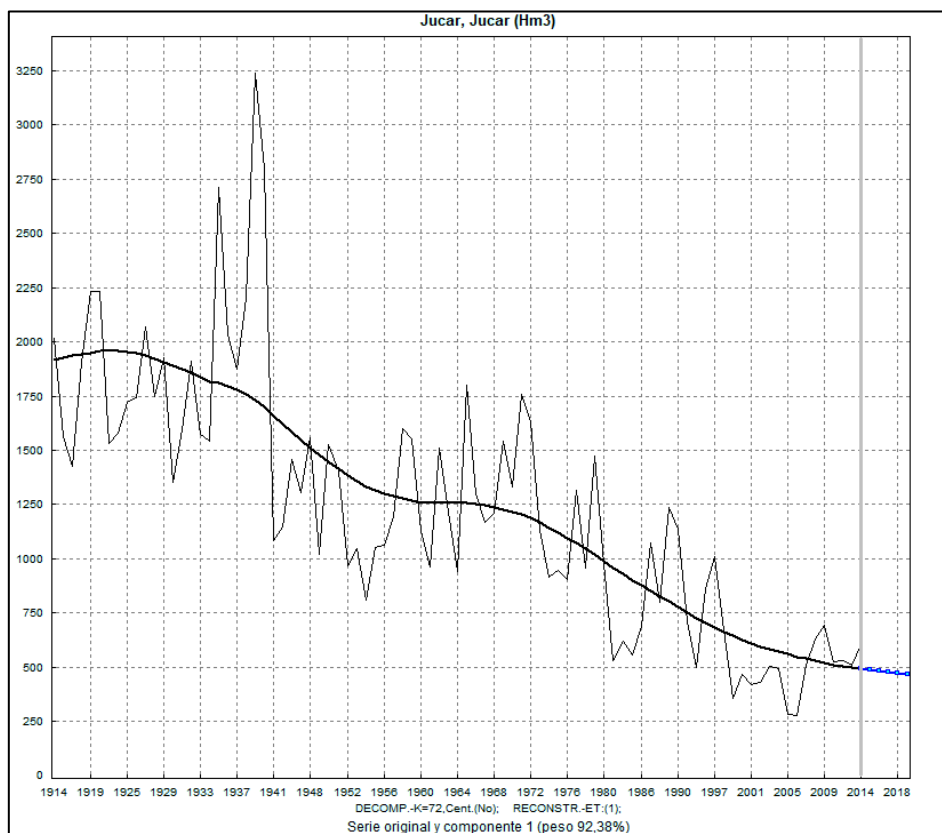


Gráfico 65. Aportación hídrica del río Júcar y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

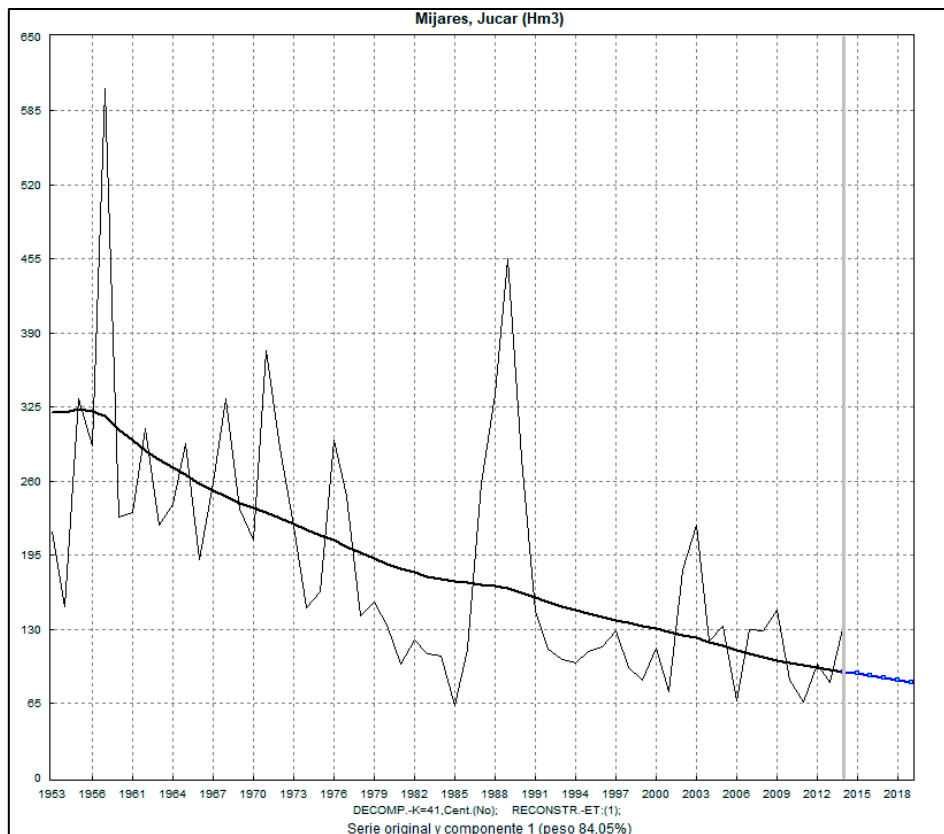


Gráfico 66. Aportación hídrica del río Mijares y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

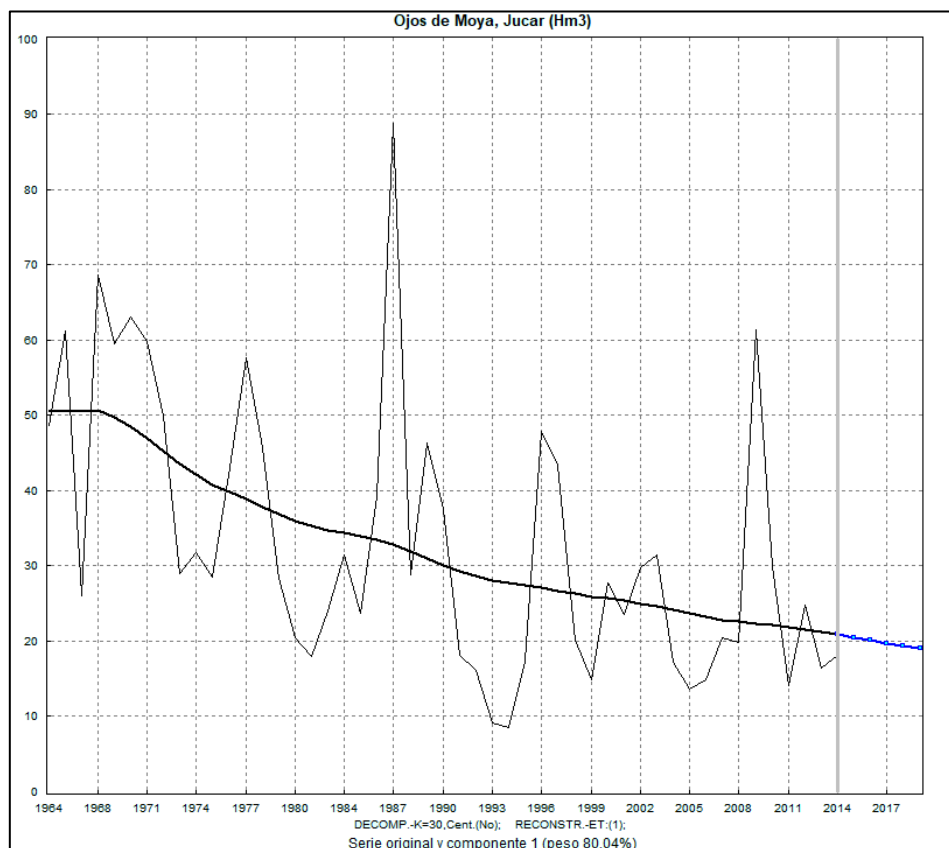


Gráfico 67. Aportación hídrica del río Ojos de Moya y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

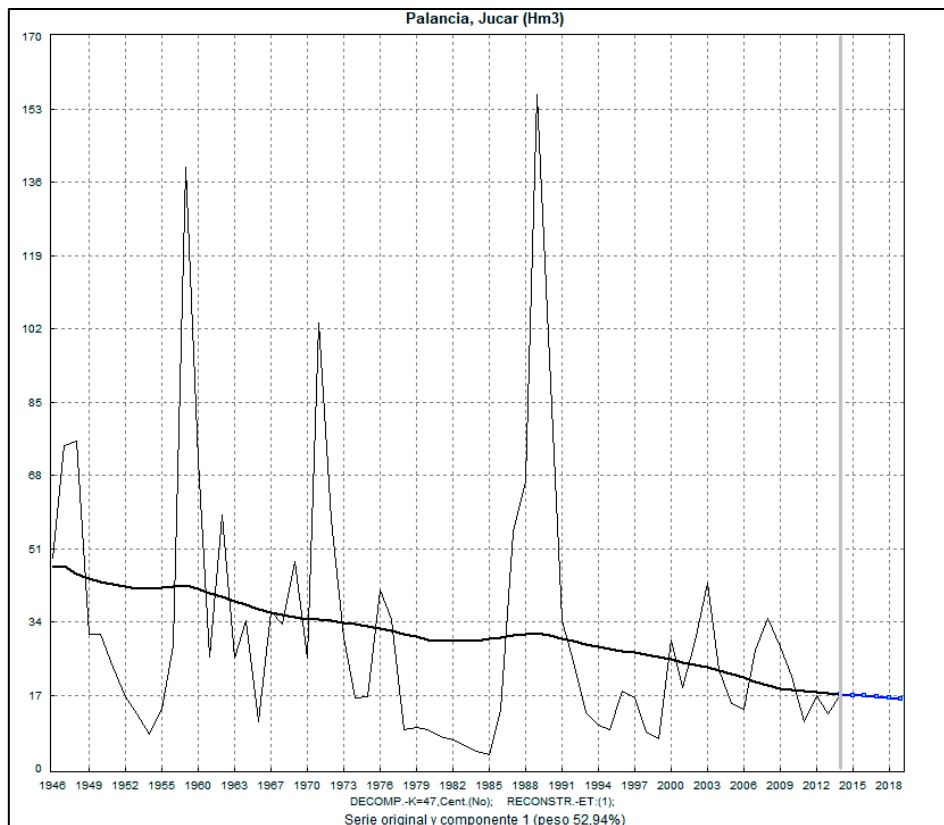


Gráfico 68. Aportación hídrica del río Palancia y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

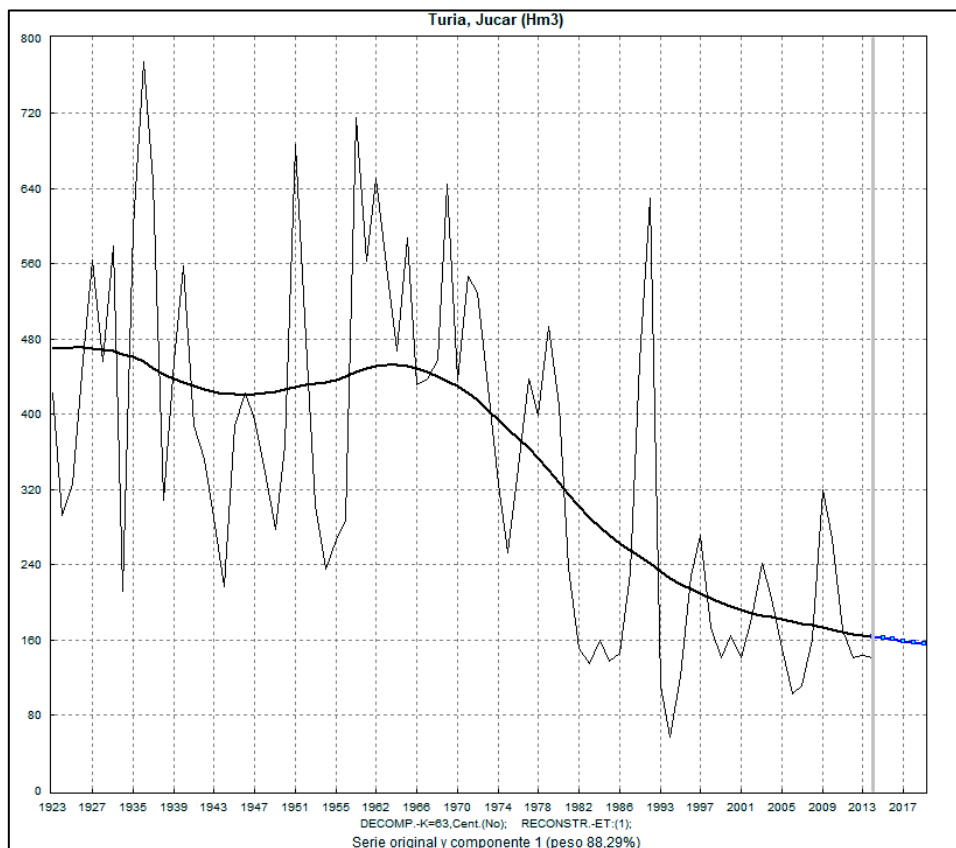


Gráfico 69. Aportación hídrica del río Turia y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

El Júcar es una cuenca que ha visto mermado los caudales de sus ríos debido a la gran demanda agraria y urbana junto a una reducción de las precipitaciones totales. Todos los ríos estudiados han tenido dramáticas disminuciones de sus aportaciones, en especial el Guadalaviar, el Mijares y el Júcar. En 73 años el caudal del Guadalaviar ha descendido un 80% debido a las escasas precipitaciones ya que no se han creado nuevos cultivos y la demografía de la zona se ha visto reducida. El Mijares ha perdido un 70% del volumen hídrico y el Júcar ligeramente más, dejando de aportar 1.400 hm³.

El Turia y el Palancia también destacan por un comportamiento muy negativo alcanzando las pérdidas un porcentaje del 65% para ambos. El río Cabriel y el Ojos de Moya han sufrido una menor variación comparativa, pero superando la mitad de sus aportaciones originales.

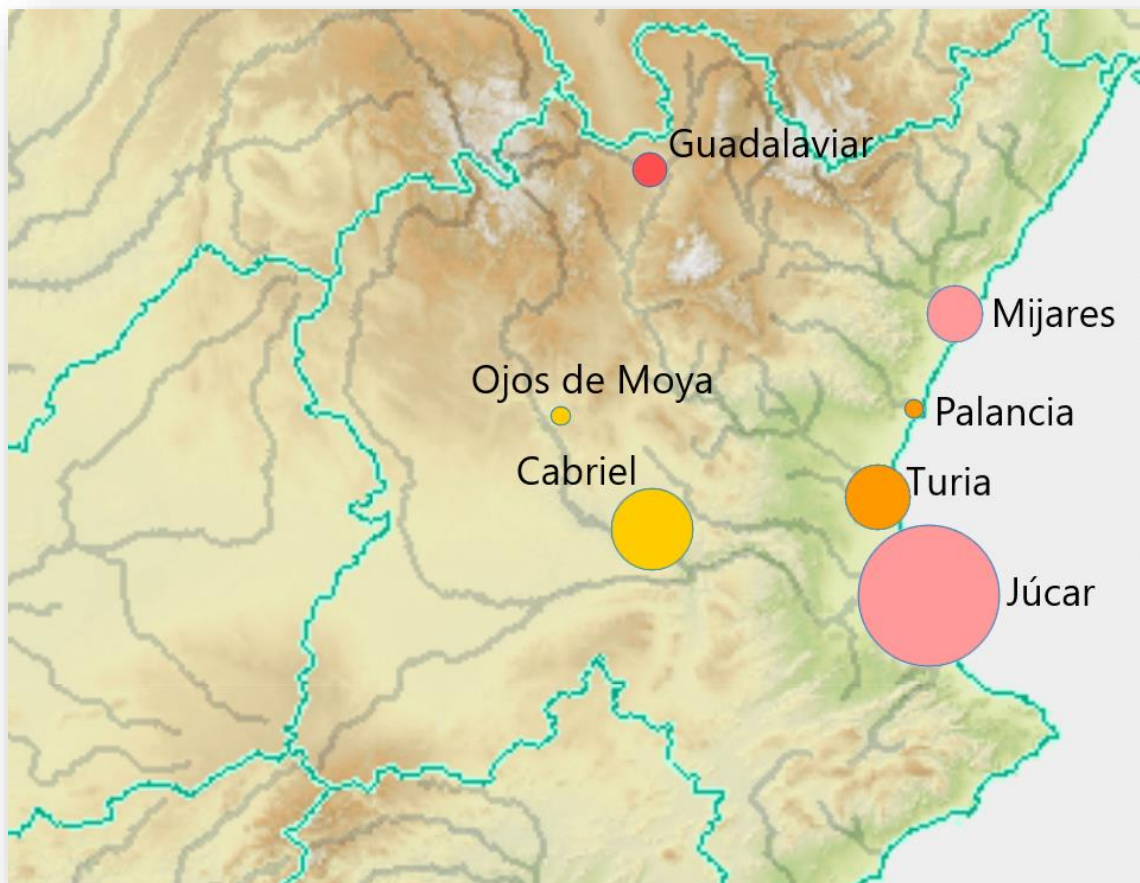


Ilustración 13. Variación del caudal en hm³ en el periodo estudiado respecto del río Júcar.

4.9 Segura

Río (Zona hidrográfica)	Comienza	Acaba	n	Tendencia Mann-Kendall		Pendiente Sen estimada				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Mundo, Segura	1924	2014	89	6,98491	***	3,882	2,345	5,469	2,659	5,084
Segura, Segura	1940	2014	74	-7,04239	***	-1,565	-2,284	-0,907	-2,112	-1,071
Quípar, Segura	1944	2014	71	-3,33556	***	-0,155	-0,303	-0,034	-0,267	-0,064
Zumeta, Segura	1966	2014	49	-1,45675		-0,251	-0,679	0,190	-0,572	0,060
Rbla. De Alcoriza, Segura	1985	2014	30	2,17661	*	3,036	-0,461	6,568	0,457	5,806
Rbla. Del Mayés, Segura	1982	2014	33	2,89746	**	2,290	0,349	4,664	1,020	3,970

Tabla 16. Tendencia de Mann-Kendall y pendiente Sen estimada para la Cuenca del Segura.

La cuenca del Segura es la cuenca hidrográfica de menor superficie estudiada pero no por ello menos importante. Pese a contar con una de las redes de aforo, acequias y conducciones más grandes de la península, no se han podido obtener series de datos amplias más que para 3 de los 6 ríos estudiados.

Partiendo de la información que hemos obtenido de las diversas cuencas estudiadas y suponiendo que se trata de una de las zonas más áridas de España podríamos afirmar antes de hacer el Test de Mann-Kendall o de mirar los gráficos que la tendencia seria negativa, con un comportamiento similar al de la cuenca del Júcar. Sin embargo, existe un aumento de las aportaciones hídricas para las ramblas de Alcoriza y del Mayés (Gráficos 72 y 73), así como para el río Mundo (Gráfico 70).

El grado de confianza para afirmar un aumento del caudal para ambas ramblas es bueno y se puede achacar a que las series de datos comienzan después del inicio de la década de los 80, no teniendo en cuenta las variaciones anteriores que previsiblemente modificarían el estudio. Por otro lado, tenemos el caso del río Mundo, que desde el año 1975 hasta nuestros días ha triplicado sus aportes hídricos. La causa de este aumento ha sido la construcción del trasvase del Tajo-Segura permitiendo derivar una considerable masa de agua que de otro modo no dispondría la cuenca.

El Zumeta (Gráfico 75) es el río más estable y no se ha podido afirmar una variación de su caudal mediante el Test de Mann-Kendall. Gracias a la SSA podemos observar una ligera disminución de sus aportes, en especial en la década de los 70 para luego estabilizarse.

Por último, los ríos Quípar y Segura presentan comportamientos similares en los que el caudal descendió hasta el inicio de la década de los 60 manteniéndose en un nivel base precario, en el que en determinadas épocas del año está seco su cauce.

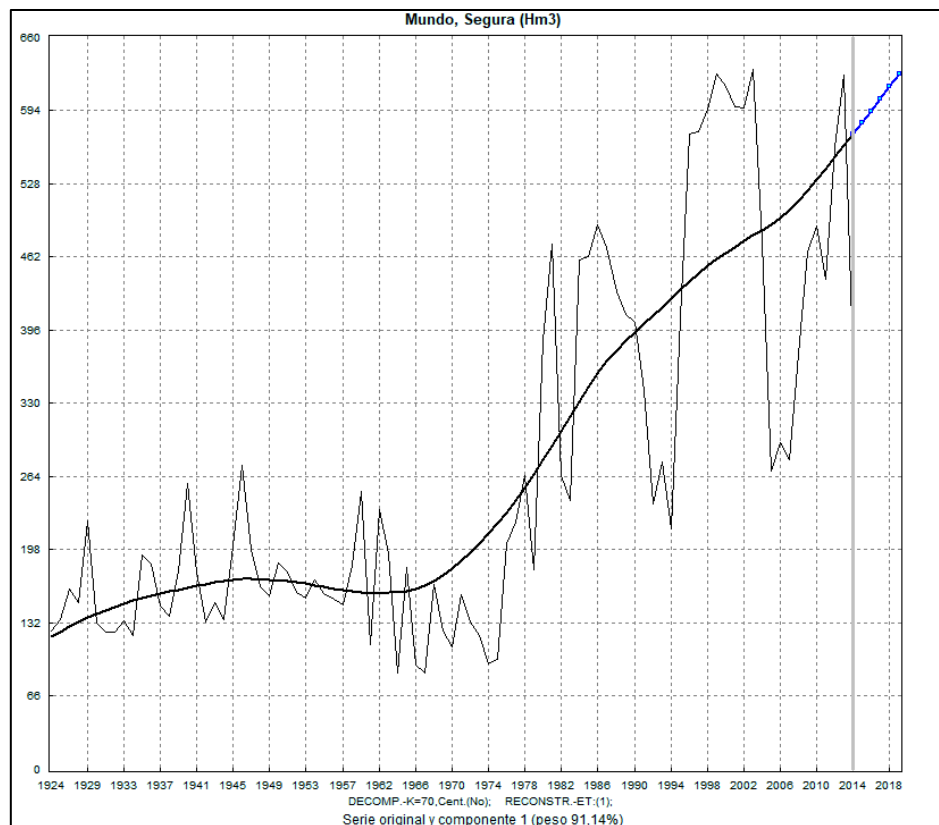


Gráfico 70. Aportación hídrica del río Mundo y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

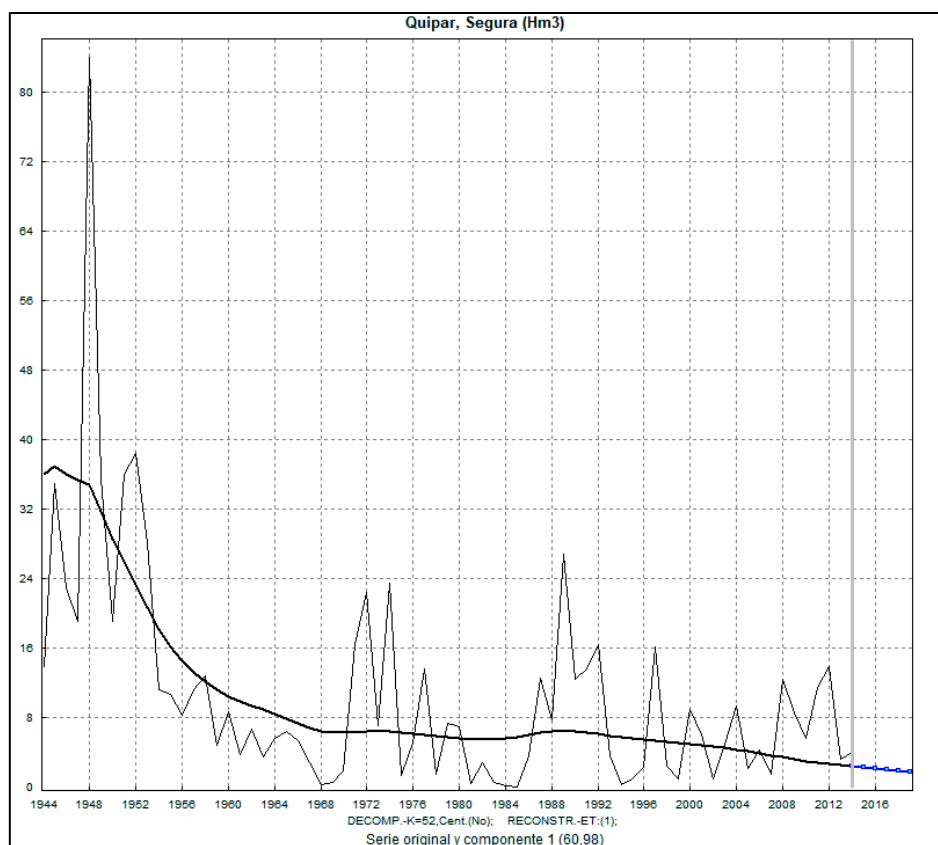


Gráfico 71. Aportación hídrica del río Quípar y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

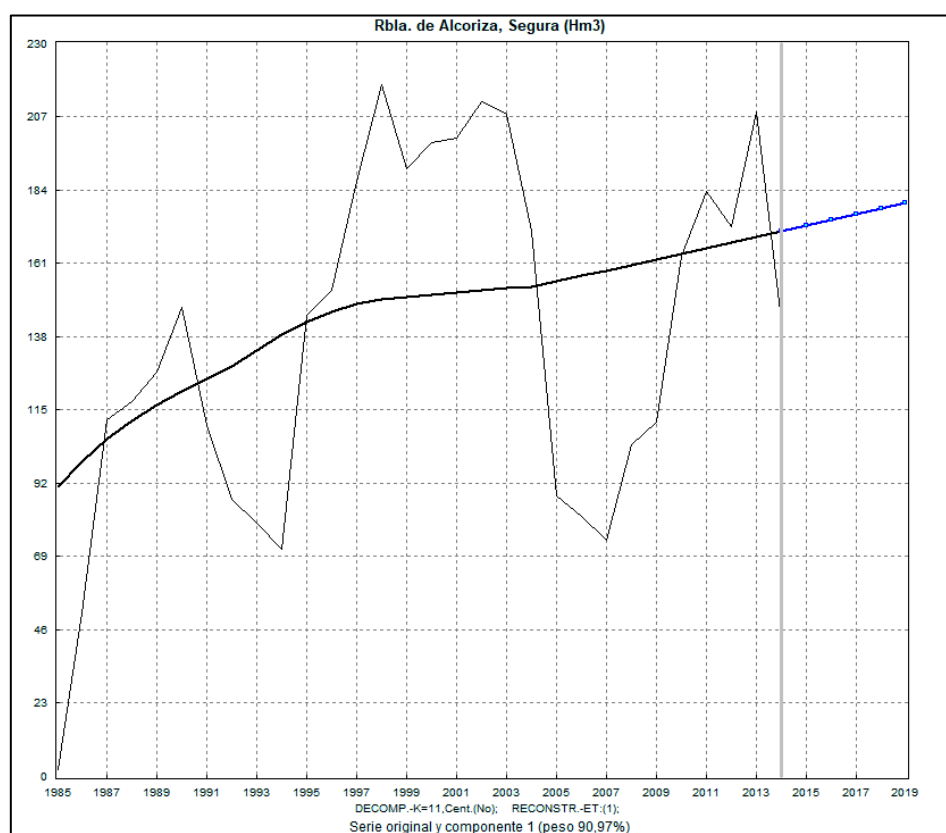


Gráfico 72. Aportación hídrica de la rambla de Alcoriza y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

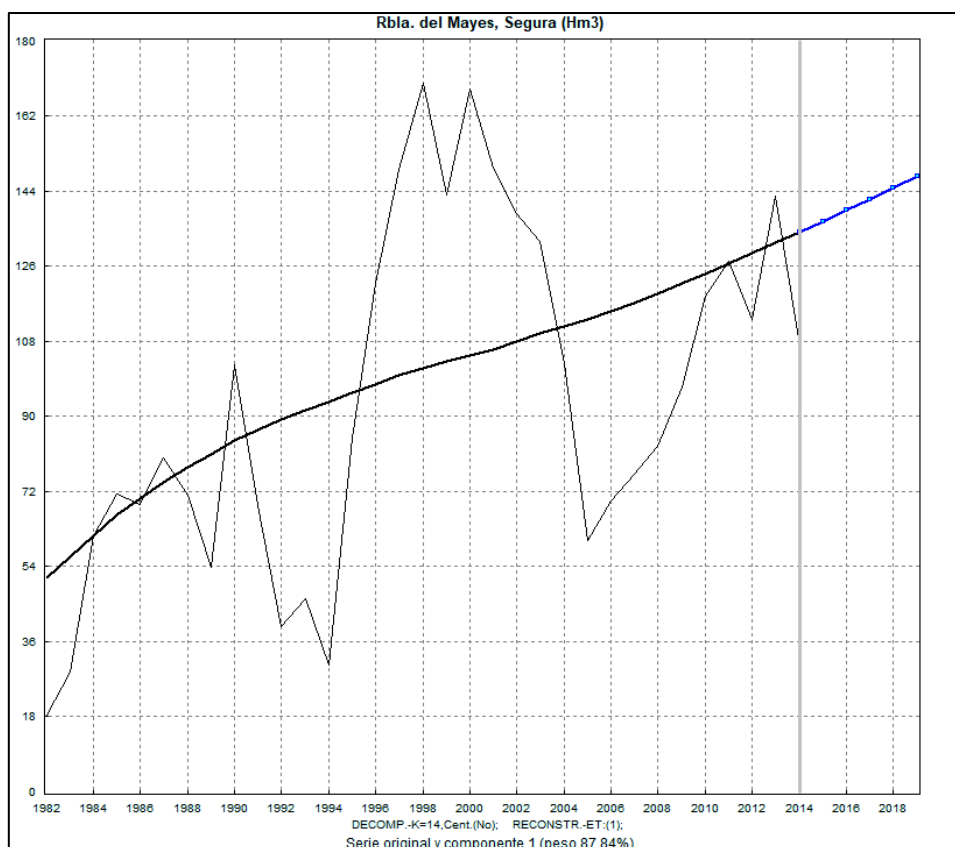


Gráfico 73. Aportación hídrica de la rambla del Mayés y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

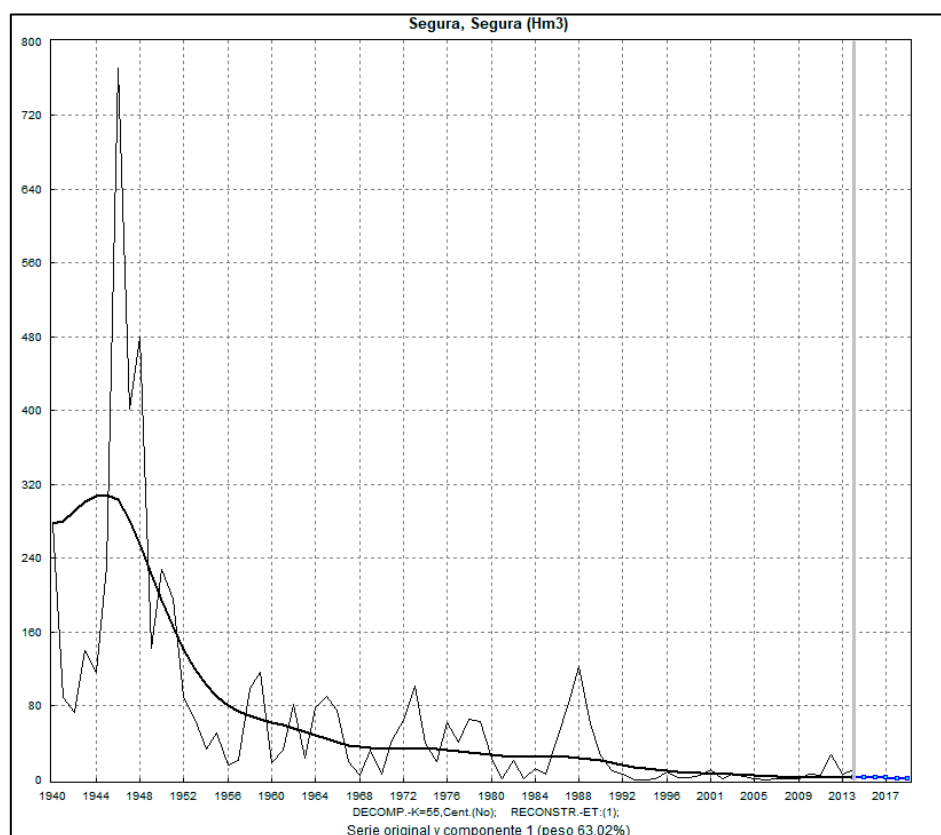


Gráfico 74. Aportación hídrica del río Segura y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

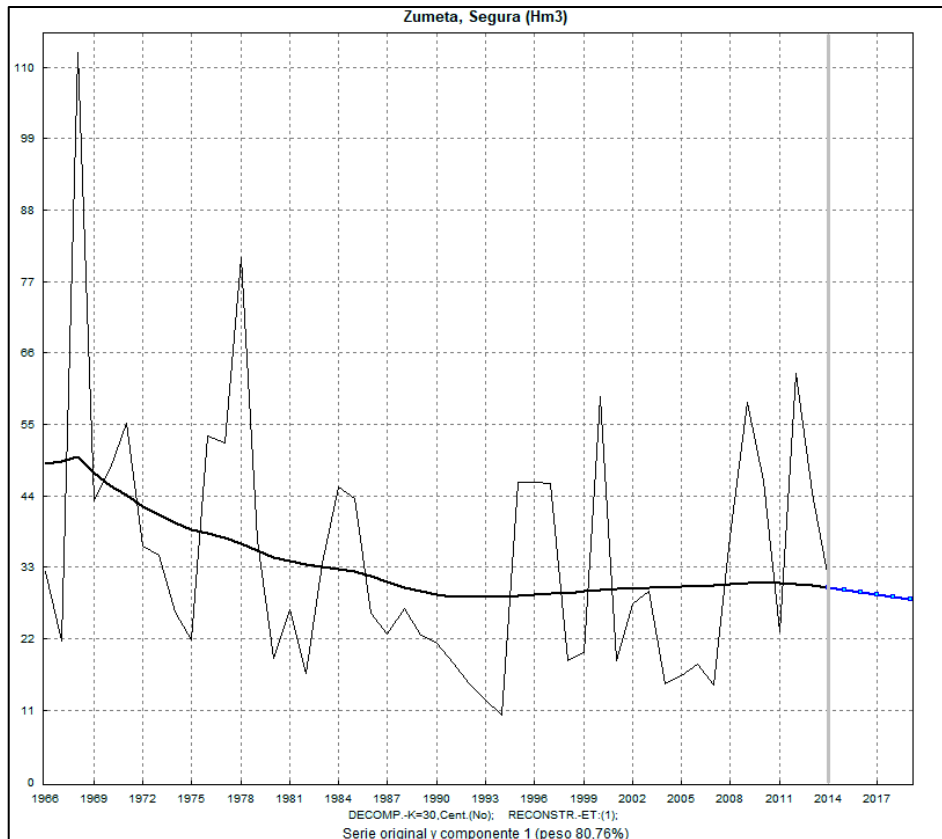


Gráfico 75. Aportación hídrica del río Zumeta y tendencia y proyección extraída mediante SSA.

La tendencia de esta cuenca ha sido muy peculiar porque evidenciando una mayor presión antrópica y una disminución en el régimen de precipitaciones ha logrado incrementar el volumen de alguno de sus ríos. En concreto, el río Mundo y las ramblas de Alcoriza y del Mayés han visto un incremento espectacular de sus caudales gracias a las aportaciones del trasvase del Tajo-Segura y de las conducciones y canales contruidos para hacer frente a la demanda agrícola.

Es por ello que sin la mano del hombre el resultado natural habría sido una disminución importante de los caudales como en la cuenca del Júcar.

El río Zumeta presenta una disminución de un tercio de los aportes y el Quípar aportaría un escaso 10 % de sus aportes anteriores. El comportamiento más importante lo encontramos en el río Júcar que pese a haber visto incrementadas las aportaciones de varios de sus afluentes apenas llega a desembocar en el mar, existiendo varios años en el registro con un cauce totalmente seco.

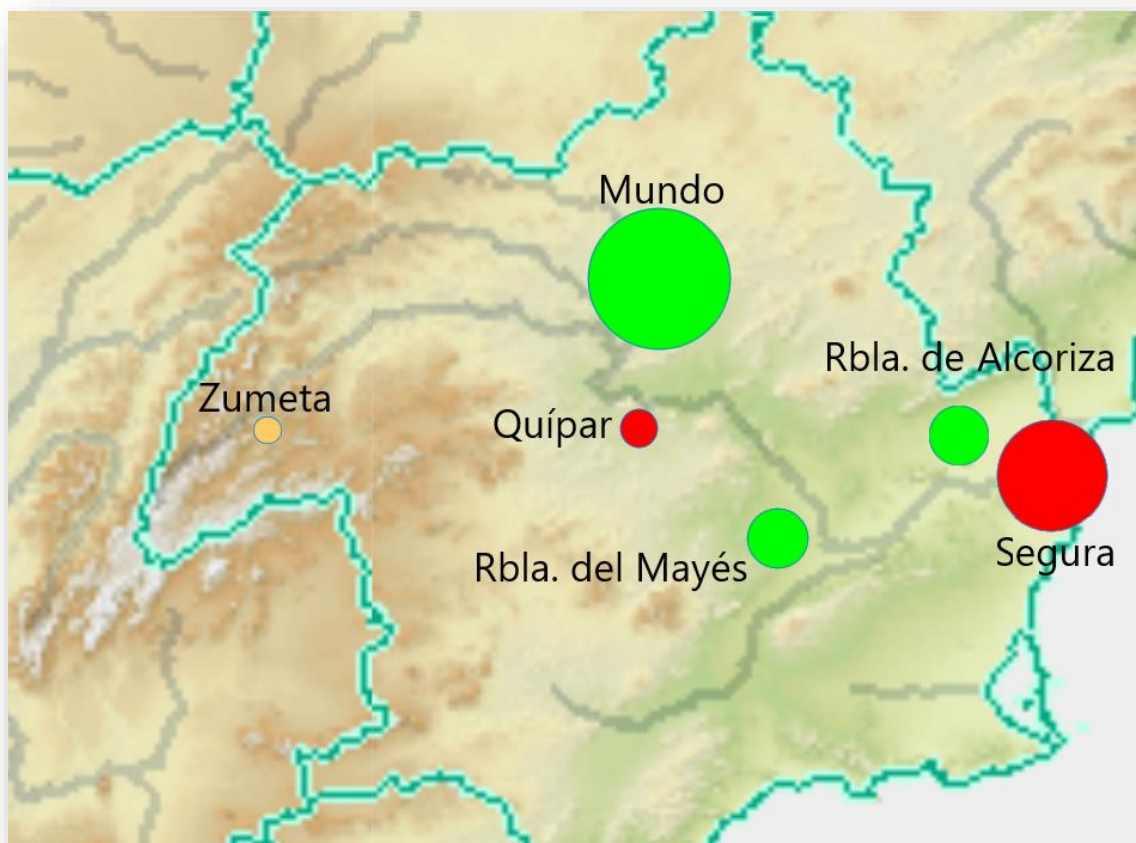


Ilustración 14. Variación del caudal en hm^3 en el periodo estudiado respecto del río Mundo.

4.10 Variación de la aportación hídrica desde 1964

El anuario de aforos dispone de una ingente cantidad de datos, pero no existen series históricas completas de la mayoría de los ríos españoles. Para poder obtener una visión fiel en su conjunto se ha realizado un estudio con los ríos de la península más importantes en un periodo de tiempo de 50 años. El resultado obtenido (Figura 3) destaca una disminución de la casi totalidad de la red hidrográfica estudiada a excepción del Oria y el Sella en el Cantábrico, el Sotón en la cuenca del Ebro, el Rivera de Cala en el Guadalquivir y artificialmente el río Mundo de la cuenca del Segura gracias a las aportaciones del trasvase Tajo-Segura.

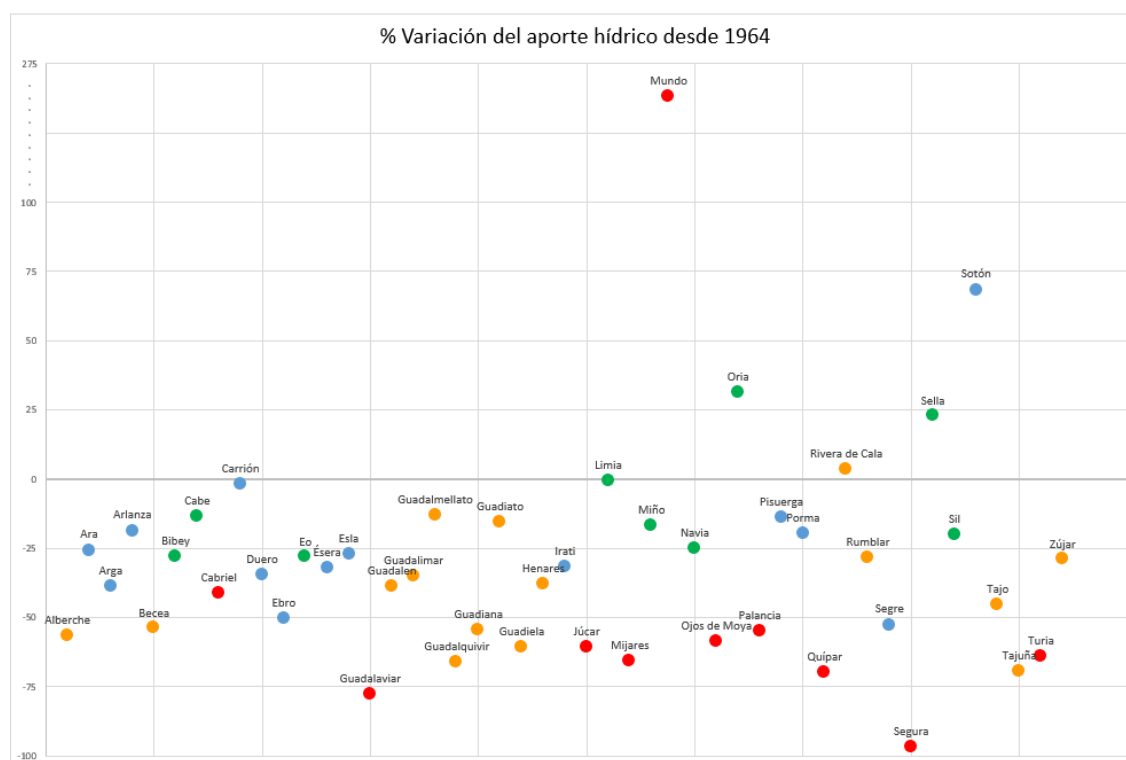


Figura 3. Variación de las aportaciones hídricas desde el año 1964.

Las cuencas del Júcar y el Segura, representadas en rojo en la Figura anterior, destacan por ser las que mayor variación han sufrido, muchos de sus ríos con pérdidas superiores a la mitad de sus aportaciones. Como se ha comentado antes, el incremento de un 266% de los aportes del río Mundo solo se debe al trasvase de los embalses de Entrepeñas y Buendía en el Tajo.

Se han agrupado las cuencas del Tajo, el Guadiana y el Guadalquivir ya que poseen características comunes como la vertebración de un río importante siendo los afluentes de escasa entidad o una similar precipitación originada por su enclave al sur del sistema central y con sus nacimientos en el este y sureste peninsulares. Los 3 grandes ríos tienen unas pérdidas de sus caudales en torno al 50%, presentándose una tendencia negativa generalizada pero no de la magnitud del sudeste español.

Los ríos de esta zona con un comportamiento menos deficitario nacen en Sierra Morena y se dividirían entre el Guadiato, el Guadalmellato, el Rivera de Cala y el Rumblar en la cuenca del Guadalquivir y el Zújar en el Guadiana.

La siguiente superficie clasificada corresponde a la del Duero y el Ebro. Ambas cuencas cuentan con factores similares que han hecho que se establezcan en esta división. Un importante río vertebrador alimentado con afluentes de gran caudal en el norte y escasos al sur, a excepción del Tormes y que recibe grandes precipitaciones en los nacimientos ubicados en la cordillera cantábrica y en los Pirineos.

Como podemos ver la mayor parte de los ríos han sufrido ligeras disminuciones con unas pérdidas generales inferiores al 25% de sus caudales. Las mayores pérdidas se han dado en los dos afluentes ubicados más al Este de la cuenca del Ebro, el Segre y el mismo Ebro con unas pérdidas de la mitad de sus aportaciones en la serie histórica estudiada. Por el contrario, el Sotón en la provincia de Huesca, es el segundo río que más ha aumentado su caudal con cerca de un 70% desde 1964.

Por último, se ha designado una zona común de las cuencas del Cantábrico y del Miño. El volumen de precipitaciones es el más abundante de toda la península ibérica y el sector agrícola no tiene especial prevalencia para variar el conjunto de la demanda total de agua. Como podemos observar, a excepción del Bibey en Galicia y el Eo en Asturias, los demás ríos conceden unas pérdidas inferiores al 25 %.

Se trata por tanto de la zona que menor variación ha sufrido y en la que dos importantes ríos como el Sella y el Oria han podido ver aumentadas sus aportaciones un 25% en los últimos 50 años.

5. - DISCUSIÓN

Este trabajo ha sido elaborado gracias a la información extraída de la base de datos del anuario de aforos y, como tal, no representa a la totalidad de los ríos españoles. La falta de datos y la complejidad de los diferentes factores que interaccionan con el comportamiento de la red hidrográfica exige que se dispongan una serie de pautas con el fin de desarrollar una visión lo más realista posible. Para ello se han tomado las siguientes consideraciones:

- Se ha procedido a recopilar la información de los ríos y afluentes que dispusiesen de una serie de datos constantes y con la suficiente envergadura histórica como para poder extraer un análisis de su evolución. De esta forma, no se ha podido tener en cuenta algunos ríos de importante caudal.
- Los aforos utilizados para medir la aportación hídrica histórica han sido los más cercanos a su desembocadura. Esta elección puede incurrir en una debilidad ya que en series históricas de larga duración se ha podido construir un embalse en un tramo superior lo que modificaría puntualmente el caudal real del río. Al estudiarse la tendencia global de un periodo considerable de tiempo se entiende que las variaciones ocasionadas por estas construcciones tengan un valor muy reducido.
- La heterogeneidad orográfica, litológica y climática del territorio español impiden que se estudie como un ente único y la bibliografía disponible está enfocada, en su mayor parte, a estudios de superficies muy concretas. Es por ello que se ha debido recopilar un volumen suficiente de estudios para establecer un patrón común de algunos factores:
 - Se acepta que la modernización de las técnicas de regadío puede generar un efecto rebote en la demanda de agua que debe ser tenido en cuenta. A su vez el incremento de la demanda de agua por el cambio de la cobertura vegetal es lo suficientemente importante como para modificar las aportaciones hídricas de los ríos.
 - No se puede afirmar que exista una clara tendencia en los históricos de precipitación para la península en general si bien se observa una ligera disminución en el sistema central que se ve agravada conforme nos vamos acercando al sudeste de la península.

- Para el periodo estudiado se observa una clara tendencia en el aumento de la temperatura que a su vez modifica la evapotranspiración potencial provocando un aumento del déficit hídrico.
- La variabilidad de las aportaciones hídricas interanuales dificulta extraer una tendencia clara en la evolución histórica al poseer diferentes ciclos de sequía con épocas de precipitaciones considerables de duración indeterminada. Se han utilizado dos softwares estadísticos para eliminar los posible ruidos e interferencias de las series estudiadas. En este caso se ha empleado el Test de Mann-Kendall y la técnica de análisis de espectro singular (SSA).

6. - CONCLUSIONES

Con los datos que se han podido extraer de los resultados podemos destacar las siguientes conclusiones:

- Se ha producido una disminución generalizada de las aportaciones hídricas de los ríos españoles durante el siglo XX.
- Esta variación ha afectado en menor medida a las cuencas del Cantábrico y del Miño debido a una estabilidad en las condiciones climáticas y una demanda inferior a la media en el sector agrícola.
- Los grandes ríos que conforman las cuencas del interior peninsular han registrado disminuciones superiores al 30% de sus volúmenes históricos agravándose dicha situación hacia el sur.
- Las cuencas del Júcar y el Segura han sido las más afectadas con pérdidas superiores al 50% en las desembocaduras al Mediterráneo. Pese a contar con un trasvase entre el Tajo y el Segura, la demanda de agua en agricultura impide recuperar los caudales.
- La demanda de agua se ha incrementado en todos los sectores económicos, en especial en la agricultura debido a un aumento de su superficie, una mayor modernización de los sistemas de regadío y una elección de especies vegetales más rentables, pero con mayor demanda de agua.
- Se observa en las últimas décadas una estabilización motivada por una limitación de la superficie cultivable y un estancamiento demográfico y económico.
- Resultaba previsible, por razones demográficas y climáticas, un agravamiento en el futuro de los problemas de déficit de recursos hídricos existentes en la mitad sur de España.

7. – BIBLIOGRAFÍA

AEMET (2019). Caracterización del comportamiento de la temperatura mensual desde 1991, respecto al periodo de referencia 1981-2010. Recuperado de <http://www.aemet.es/documentos/es/noticias/2019/Caracterizacion1991.pdf>

Barceló, M. (1989). *El diseño de espacios irrigados en al-Andalus: un enunciado de principios generales*. I Coloquio de Historia y Medio Físico. Almería, págs. 15-28.

Berbel J., Gutiérrez-Martín C., Rodríguez-Díaz J.A., Camacho E. y Montesinos P. (2015). Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. *Water Resources Management*, 29, 663-678.

Berga, L. (2003). Presas y embalses en la España del siglo XX. *Revista de obras públicas*, 3438, 37-40.

Bosch, J.M. y Hewlett, J.D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55, 3–23.

Brunet M., Aguilar E., Saladie O., Sigró J. y López D. (2001). The Variations and Trends of the Surface Air Temperature in the Northeastern of Spain from Middle Nineteenth Century Onward. *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, págs. 81-94.

Calatayud, S. y Martínez, J. (1999). *El cambio técnico en los sistemas de captación e impulsión de aguas subterráneas para riego en la España Mediterránea*. Madrid, págs. 15-40.

Canales, G. y Juárez, C. (1994). Nuevos regadíos en el secano del Bajo Segura: el modelo referencial de San Onofre-Torremendo (1953-1992). *Investigaciones Geográficas*, 12, 215-237.

Centro de Estudios Hidrográficos (2000). *Libro Blanco del Agua en España*. Madrid

Collantes, F. (2007). La desagrarización de la sociedad rural española, 1950-1991. *Historia Agraria*, 42, 251-276.

Corominas, J. (2010). Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del agua*, 17(3), 219-233.

- Fernández, E. (2004). *Un siglo de obras hidráulicas en España: de la utopía de Joaquín Costa a la intervención del Estado*. Universidad de Zaragoza, págs. 8-9.
- Fuchs, R., Herold, M., Verburg, P.H., Clevers, J.G.P.W., Eberle, J. (2015) Gross changes in reconstructions of historic land cover/ use for Europe between 1900 and 2010. *Global Change Biology*, 21, 299-313.
- Galán, E., Cañada, R., Rasilla, D., Fernández, F. y Cervera, C. (1999). *Evolución de las precipitaciones anuales en la meseta meridional durante el siglo XX*. I Congreso de la Asociación de Climatología. Barcelona, págs. 169-180.
- Gallart, F. (2000). Informe sobre el proyecto del Plan Hidrológico Nacional. Barcelona.
- Garrabou, R. y Naredo, J. (1999). *El agua en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*. Barcelona, págs. 12-98.
- Hardy, L. y Garrido, A. (2010). Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía. *Papeles de Agua Virtual*, 6, 1-214.
- Laguna, M. y Lasanta, T. (2007). Balance de las políticas públicas en el desarrollo rural del Pirineo Aragonés. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 43, 29-49.
- Lecina S., Isidoro D., Playán E. y Aragüés R. (2010). *Análisis del regadío IV: ¿qué efectos tendrá la modernización de Riegos del Alto Aragón?* Hoja Técnica 04/2010. Grupo de Investigación Riego, Agronomía y Medio Ambiente. CITA, EEAD-CSIC.
- Matés, J. (2016). La regulación del suministro de agua en España: siglos XIX y XX. *Revista de Historia Industrial*, 61, 15-47.
- Millán, M., Estrella, M.J. y Miró, J.J., (2005). Rainfall components: variability and spatial distribution in a mediterranean área (Valencia región). *Journal of Climate*, 18 (14), 2682-2705.
- Pastor, F., Valiente, J.A. y Palau, J.L. (2017). Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982–2016). *Pure and Applied Geophysics*, 175 (11), 4017-4029.
- Playán, E. y Mateos, L. (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, 80 (1-3), 100-116.
- Sales, V., Jambrino, T. y Juste, J.J. (1982). Análisis espacial y temporal de la sequía 1978-1981 en España. *Cuadernos de Geografía*, 30, 13-24.